

3  
24

Esta es una ocasión en que las palabras son insuficientes,  
para expresarles los sentimientos que alberga mi corazón.

**SEÑOR:**

Gracias por: haberme dado la vida.  
haberme mostrado lo inmenso de tu amor a tra-  
vés de mis padres, esposo e hija.  
permitirme llegar a este punto en mi vida pro-  
fesional.

**A MIS PADRES con amor...**

Gracias por: haberme dado todo su amor.  
estar siempre a mi lado.  
su ayuda, solicitud y comprensión.  
haber hecho de mí la persona que hoy soy.  
darme una profesión.  
todos sus innumerables cuidados y sacrificios.

**A MI ESPOSO con cariño y amor...**

Gracias por: compartir tu vida conmigo por siempre.  
alimentar nuestro amor con tu ternura.  
hacer de mi vida una eterna primavera.  
alentarme en los momentos difíciles.  
tu ayuda para realizarme plenamente.  
los dibujos de la presente tesis.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

# I N D I C E

	pág
I. INTRODUCCION. . . . .	1
II. OBJETIVOS. . . . .	6
III. GENERALIDADES . . . . .	8
1. PRINCIPIOS BASICOS. . . . .	9
1.1 Microondas . . . . .	16
1.2 Propiedades . . . . .	19
(A. Reflexión, interferencia y refracción, B. Absorción y polarización, C. Energía de las ondas electromagnéticas, D. Mecanismo, E. Factor de pérdida, F. Penetración, G. Elección de la frecuencia).	
2. EQUIPO, MATERIAL DE EMPAQUE Y RECIPIENTES QUE SE USAN EN EL PROCESO POR MICROONDAS. . . . .	36
2.1 Hornos. . . . .	36
(A. Generalidades, B. Seguridad de los hornos de microondas).	
2.2 Material de empaque y recipientes que se usan en los procesos por microondas. . . . .	44
(A. Vidrio, cerámica y porcelana, B. Metal, C. Papel, plástico y cartón).	
IV. METODOS DE ANALISIS PARA EVALUAR LA CALIDAD NUTRICIA Y SENSORIAL DE LOS ALIMENTOS . . . . .	49
1. ANALISIS PARA DETERMINAR EL VALOR NUTRICIO DE LOS ALIMENTOS . . . . .	50
1.1 Humedad . . . . .	50
1.2 Proteinas . . . . .	51
(A. Determinación del nitrógeno total y pro-	

	teína cruda, B. Determinación de aminoácidos, C. Determinación del PER	
1.3	Lípidos. . . . .	53
	(A. Determinación de grasa por extracción	
	B. Composición de los ácidos grasos, C. Determinación del TBA).	
1.4	Carbohidratos. . . . .	54
	(A. Determinación de fibra cruda, B. Métodos cualitativos, C. Métodos cuantitativos).	
1.5	Minerales . . . . .	55
	(A. Determinación de cenizas totales, B. De potasio y sodio, C. Cloruro de sodio, D. Fosfato, E. Calcio, F. Cobre, G. Hierro, H. Cinc, I. Manganeso, J. Magnesio).	
1.6	Vitaminas . . . . .	58
2.	EVALUACION SENSORIAL . . . . .	59
2.1	Clasificación de los métodos de evaluación sensorial subjetiva. . . . .	59
2.2	Pruebas objetivas . . . . .	62
	(A. Color y brillo, B. Textura, C. Sabor).	
V.	EFFECTO DE LAS MICROONDAS EN EL VALOR NUTRICIO DE LOS ALIMENTOS . . . . .	65
1.	HUMEDAD. . . . .	66
2.	PROTEINAS . . . . .	72
	(A. De origen animal, B. De origen no animal)	
3.	CARBOHIDRATOS. . . . .	82

4.	LIPIDOS . . . . .	84
5.	MINERALES . . . . .	93
6.	VITAMINAS . . . . .	96
	(A. Solubles en grasa, B. Solubles en agua).	
VI.	EFFECTO DE LAS MICROONDAS SOBRE LAS CUALIDADES SENSORIALES DE LOS ALIMENTOS . . . . .	119
	INTRODUCCION . . . . .	120
1.	APARIENCIA . . . . .	123
2.	COLOR . . . . .	127
3.	SABOR . . . . .	131
	(A. Gusto, B. Olfato, C. Sensaciones en la boca, D. Sabores residuales).	
4.	TEXTURA . . . . .	137
VII.	ALTERACIONES BIOLÓGICAS CAUSADAS POR LAS MICRO- ONDAS. . . . .	141
	(A. Efectos térmicos, B. Efectos no térmicos).	
1.1	Efectos en los ojos. . . . .	143
1.2	Efectos en el sistema nervioso . . . . .	144
1.3	Efectos genéticos . . . . .	145
1.4	Otros efectos . . . . .	146
VIII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	148
IX.	ANEXOS . . . . .	152
X.	BIBLIOGRAFIA . . . . .	154

I. INTRODUCTION.

Aunque la contribución nutricional de los alimentos depende del contenido original de nutrimentos, pueden ocurrir pérdidas y alteraciones de éstos, que se deban al método de preparación y cocción de los alimentos (125).

En años recientes han aparecido muchos estudios para investigar la forma de mejorar el color, sabor y retención de nutrimentos, en alimentos que se procesan por medio de técnicas diferentes a las convencionales. Entre las alternativas que se han considerado para el logro de este objetivo está la utilización de ciertas radiaciones del espectro electromagnético, como son las microondas (176). Otros factores que contribuyen a la búsqueda de nuevos métodos de preparación de alimentos son: la necesidad de encontrar nuevas fuentes de energía que no contaminen el medio ambiente y que permanezcan económicas en el futuro (se ha visto que los combustibles derivados del petróleo conforme el tiempo pasa resultan cada vez más costosos (66,82,197)). Como el estilo de vida ha sufrido cambios, en la actualidad se observa una tendencia a ocupar el menor tiempo posible en la preparación de los alimentos, no sólo en casa (ya que como muestra la tabla 1, el número de hombres y mujeres que trabajan se ha incrementado), sino que también en los restaurantes, hospitales y a nivel industrial, en donde se busca tener la mayor cantidad de producto terminado en el menor tiempo y costo posible, sin olvidar la calidad del mismo (4,39,66,184).

La energía de microondas está ganando importancia. En México desde el año de 1974, la fábrica de hornos Acros, S.A. empezó a vender hornos de microondas para uso doméstico, y en el año de 1987, Black and Decker, S.A. de C.V. empezó a introducir sus hornos de microondas al mercado del país. A la energía



TABLA 1

Población total y población activa de México (39).

Años	<u>Población total (%)</u>		<u>Población activa (%)</u>	
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
		(%)		(%)
1930		<u>100</u>		<u>31.1</u>
	49.1	50.9	29.7	1.4
1940		<u>100</u>		<u>29.8</u>
	49.3	50.7	27.6	2.2
1950		<u>100</u>		<u>32.4</u>
	49.2	50.8	28.0	4.4
1960		<u>100</u>		<u>32.4</u>
	49.9	50.1	26.6	5.8
1970		<u>100</u>		<u>36.8</u>
	49.9	50.1	25.3	11.5
1978		<u>100</u>		<u>37.5</u>
	48.9	51.1	26.6	10.9

Fuente: Catálogo de la Población de México, su Ocupación y sus Niveles de Bienestar (1979).

de microondas se le pronostica un futuro brillante porque permite un cocinado rápido y efectivo (por ejemplo la carne se cocina cuatro veces más rápido por microondas que por un método convencional) (34,43,159,182), además porque se le considera como un medio de procesar alimentos a nivel industrial a una mayor velocidad y como un método de calentamiento y elaboración de alimentos en instituciones (como hospitales, guarderías, asilos, etc.), en establecimientos comerciales (como bares, tavernas, restaurantes, cafeterías, establecimientos de auto servicio, etc.) y en los hogares en donde el uso de microondas beneficia a los hombres y mujeres que viven solos y trabajan, así como a las familias en donde los dos esposos trabajan, además de que permite que los diferentes miembros de la familia puedan comer a distintas horas (3,19,51,82,134,183,184).

El calentamiento por microondas es limpio porque no hay ninguna combustión en los productos, es compatible con otros medios de calentamiento, tales como vapor, aire caliente, infrarrojo, etc., de modo que es posible diseñar equipo para procesar que ejecute una variedad de funciones de forma óptima; el equipo generalmente es todo electrónico de tal manera que la cantidad de energía y el tiempo de su disponibilidad se pueden controlar instantáneamente, haciendo posible el logro de un producto de buena calidad, también se ve reducido el riesgo de quemaduras; este calentamiento tiene un mayor poder de penetración que el convencional, por lo que se consigue tener el producto cocinado en un tiempo mucho menor (104,117). Otra ventaja que ofrece este tipo de calentamiento es un mayor ahorro de trabajo y en el consumo de combustible, y por lo tanto una reducción en el costo del producto (45,68,103,128,154).

Sunderland en 1982 observó que el costo por kilogramo de un producto que se sometió a un proceso en el que se usó la energía de microondas fue de \$45.30, mientras que el costo del mismo producto que se procesó por la forma acostumbrada resultó ser de \$68.20 (200). Por todas estas ventajas en Europa se usa la energía de microondas para cocinar arenques en las latas antes de sellarlas (18).

Debido a la rapidez con que calientan las microondas, en la actualidad se están haciendo investigaciones para usar la energía de microondas en todos aquellos análisis, en los cuales se necesita efectuar un calentamiento y se ha observado que se obtienen resultados semejantes a los que se obtienen por las técnicas usuales (149,156,167,204).

Cuando se desarrollan nuevas técnicas o métodos para procesar alimentos, la principal preocupación tanto de los procesadores como de los consumidores es que el producto tenga la máxima calidad nutricional y sensorial, así como que sea un producto seguro (82).

## II. OBJETIVOS.

Los objetivos de la presente tesis son:

A) Realizar una investigación bibliográfica, sobre los cambios en la calidad de los diferentes nutrientes, en los alimentos que se procesan con la energía de microondas.

B) Determinar, con base a las referencias bibliográficas reportadas, el grado de retención o pérdida de los diversos nutrientes en alimentos que se sometieron a tratamientos con microondas.

C) Investigar, el efecto que las microondas causan sobre los atributos sensoriales en los alimentos.

D) Señalar, con base a las investigaciones efectuadas, recomendaciones para el uso de las microondas en el proceso de alimentos, para evitar o por lo menos disminuir las pérdidas en el valor nutritivo y sensorial de éstos.

III. GENERALIDADES.

## 1. PRINCIPIOS BASICOS:

Las microondas se conocen desde hace tiempo, pero sus aplicaciones para calentar alimentos y el desarrollo del equipo necesario para ello son bastantes recientes (84).

El trabajo de Maxwell que se verificó en forma experimental en 1885 por Hertz y la hipótesis de Faraday, predicen la existencia y la forma de comportarse de las microondas (80).

Desde 1893, se conoció la habilidad de los campos eléctricos de alta frecuencia para calentar o afectar sistemas biológicos (84). D'Arsonval en 1893 y Charrin en 1896, mostraron que los animales de laboratorio sufrían quemaduras y que las toxinas de las bacterias exhibían cambios fundamentales cuando se exponían bajo campos de alta frecuencia (78).

Durante la segunda guerra mundial y después de ella, se empezó a experimentar con el calentamiento dieléctrico y posteriormente con el calentamiento con microondas para el proceso de alimentos, de modo que éste siguió al desarrollo del radar (78,84). El doctor Spencer de los laboratorios Raytheon (cerca de 1940), al experimentar con la energía del radar para propósitos militares, descubrió el efecto calorífico de la energía de microondas de una forma accidental, ya que una barra de dulce se derritió en su bolsa; él fabricó el primer horno de microondas con una lata de leche (79). El primer horno de microondas factible de uso se construyó cerca de 1950 (84).

La mayoría de las aplicaciones directas del poder de las microondas son para el radar y de las indirectas el calentamiento dieléctrico de alimentos así como de otros materiales industriales por ejemplo el calentamiento de la lana en la industria tex-

til (153, 180).

Inicialmente los hornos de microondas se utilizaron para descongelar y recalentar alimentos (155). Cada día que pasa, se encuentran nuevos usos de las microondas para procesar alimentos, ya sea a nivel industrial, comercial o doméstico, entre los que se encuentran:

1. Acondicionar harina: Para esto, se añade o remueve agua y/o se calienta, alterándose así la humedad que contiene el grano. El uso de bajos niveles de energía de microondas durante el acondicionamiento aumenta la calidad de la harina y del pan; esto se debe a que el grano de trigo es expuesto en una forma directa a la energía que producen las microondas, por lo que se requiere de un tiempo mucho mas corto para el acondicionamiento (65,164).

2. Calentar y cocinar alimentos: El proceso de calentar alimentos por medio de la energía de microondas, es muy eficiente en comparación con el método convencional, esto se debe a su capacidad de calentar a profundidad sin desniveles de temperatura considerables entre la superficie y el interior, con un gran ahorro de energía y en un tiempo mucho menor (24,172).

Las microondas son muy apropiadas para el cocimiento previo de alimentos preparados que simplemente se calienten y se sirven, porque no cuecen excesivamente las superficies de modo que la deshidratación de estas zonas es menor. Cuando el consumidor vuelve a calentar el alimento por los métodos convencionales, puede lograr la textura y apariencia usuales de los productos que se cocinan de manera tradicional (80,121).

Los alimentos enlatados, precocidos y ciertos alimentos refrigerados, sólo necesitan calentarse para servirse a la tempera



tura apropiada y las microondas pueden usarse también en este caso (164).

Las microondas se adaptan bien para el cocimiento continuo de alimentos en operaciones institucionales de gran volumen. Existe en los Estados Unidos de Norte América una planta desde 1968, donde 9 000 Kg de pollo pueden cocinarse en 8 horas, al usar una combinación de vapor y energía producida por las microondas y se obtiene un producto con una menor pérdida de jugo y mayor sabor (80,84,164).

3. Concentrar: Las microondas permiten una mayor concentración de soluciones y mezclas semi-líquidas y en un tiempo más corto que por otros métodos. Se pueden usar para la elaboración de jugos y néctares de frutas (80,172).

4. Deshidratar: Las microondas calientan el agua en forma selectiva en la mayoría de los sólidos; se logra de este modo una deshidratación uniforme a través del producto con un nivel de humedad menor y en un tiempo mucho más breve que por otros métodos (78,172).

5. Descongelar: En el uso de las microondas para procesar alimentos, éste es uno de los que más éxito tiene (78). La descongelación de los productos a granel se logra rápidamente por causa del alto poder de penetración de las microondas, de modo que se genera calor por todas las partes del alimento. Actualmente se emplea en la descongelación de melocotones antes de que se industrialicen; se obtiene un producto de mejor calidad y en menor tiempo que el que se logra por la descongelación con aire a 20°C (62,119,172).

6. Determinar humedad: El calentamiento con el horno de microondas es un método de laboratorio práctico, rápido y útil para estimar la pérdida de peso del alimento después de que se cocinó.

Por este método se logran resultados que concuerdan con los de otras técnicas (94,149,165,204).

7. Determinar sólidos totales en la leche y derivados: El uso de microondas para hacer dicha determinación, da resultados más reproducibles que los que se obtienen por el método de la AOAC (104), se acorta el tiempo y se alcanzan resultados con un alto coeficiente de correlación por ambos procedimientos (20,65,85).

8. Destruir insectos en granos y en alimentos deshidratados: Se hicieron estudios sobre la destrucción de insectos en granos a través de la temperatura que se alcanzó en el bulto de grano e harina, lo que permitió observar una correlación entre tiempo, temperatura, intensidad del campo y mortalidad; asimismo, los insectos se destruyeron a temperaturas inferiores que las necesarias para inactivar las enzimas de los cereales, por lo que el grano no se dañó (78,176). En cuanto a la desinfestación de pacas y duraznos deshidratados, con microondas se logró en un tiempo mucho menor que con un horno de gas (21).

9. Destruir microorganismos. Pasteurización y esterilización: El mecanismo por el cual las microondas destruyen a los microorganismos no está claro todavía, pues aún se desconoce si la radiación (independientemente del efecto térmico), es capaz de tener un efecto letal sobre los microorganismos. El efecto de las microondas sobre los microorganismos en los alimentos, depende de características tanto intrínsecas (pH, humedad, tamaño, etc), como extrínsecas (temperatura, tiempo, frecuencia e intensidad de la radiación). Las microondas ejercen efectos letales distintos en diferentes cepas (56,76).

Se puede adaptar la radiación de microondas para pasteurizar o esterilizar alimentos a temperaturas inferiores o a tien-

por más breves. Sampson en 1954 y Yang et al. en 1947. investigaron sobre la pasteurización de vino y cerveza con excelentes resultados. También se hicieron estudios para pasteurizar mariscos, leche, jamón, etc. Titus en 1946, efectuó estudios sobre la esterilización de cerveza; Cathcart, Parker y Beatie en 1947, usaron esta energía para destruir hongos filamentosos en pan empaquetado; Ayoub demostró lo práctico que es el uso de un sistema continuo de esterilización de carne en empaques flexibles por medio de microondas (135,176,183).

10. Detectar la pérdida de polvo de leche durante su producción: La absorción de las microondas disminuye al elevarse la temperatura del aire y se incrementa con la frecuencia y tamaño de las partículas; de modo que la técnica para medir la absorción de las microondas es simple, económica y con un elevado nivel de eficiencia para detectar la pérdida de polvo y evitar una contaminación de la planta y pérdidas financieras graves (195).

11. Elaborar tocino: El tocino precocido por microondas ofrece las ventajas de poder formular productos con tocino real, en vez de utilizar análogos de sabores artificiales, eliminar nitrosaminas, bajas cuentas microbianas y es un proceso muy simple (102, 144).

12. Eliminar disolventes: Las microondas eliminan disolventes a temperaturas relativamente bajas, ya que vaporizan efectivamente muchos disolventes además del agua (172).

13. Extracción: En la producción de néctar de manzana se observó que un pretratamiento de vacío y microondas, se debe considerar como una modificación al proceso presente de extracción continua sólido-líquido, en un esfuerzo para reducir el tiempo del proceso y la exposición a las altas temperaturas que se usan

actualmente (27).

14. Evaluar la textura de la carne: Si se usa la energía de microondas para cocinar la carne primero, se acorta el tiempo y los resultados del análisis posterior son semejantes a los que se logran al cocinar la carne por los métodos comunes (106).

15. Hidrólisis de almidón: El almidón de trigo se hidroliza al utilizar la energía que producen las microondas y ácido, por lo que los jarabes de azúcares con alto nivel de dextrosa pueden producirse en un tiempo breve (120).

16. Hornear: Al hornear con microondas se acorta el tiempo del proceso considerablemente. Se emplea en la preparación de carne y verduras, en la industria de panadería (principalmente en la elaboración de donas), aunque en ésta última su desarrollo hacia aplicaciones comerciales ha sido lento (34,172,205).

17. Inactivar enzimas: El calentamiento uniforme y rápido hasta alcanzar la temperatura de inactivación puede controlar y poner fin a las reacciones enzimáticas. Las microondas no cuecen excesivamente el exterior antes de lograr la inactivación de las enzimas del núcleo central (172).

Una gran limitación en el uso de muchas harinas para hacer pan es su alto contenido de alfa amilasa que produce un pan de migaja pegajosa; este defecto se elimina al inactivar la enzima por un calentamiento rápido y uniforme, lo cual sólo se logra con la energía producida por las microondas (22). Para usar frijol de soya como alimento, es necesario remover los factores antifiológicos por medio de un calentamiento, que será más rápido con la energía de microondas (88,173). Grambe abyssinica Hachst es una semilla con composición bien balanceada de aminoácidos, sin embargo contiene glucosidos, los cuales son hidrolizados por

la enzima tioglucosidasa que produce compuestos tóxicos; un calentamiento con microondas inactiva dicha enzima y resuelve así el problema (122,140,148).

18. Inflación y formación de espuma: El calentamiento interno rápido con las microondas, causa la inflación o formación de espuma cuando la velocidad de la transmisión del calor es mayor, que la de transferencia de vapor desde el interior del producto. Puede utilizarse para la inflación de botanas (172).

19. Liofilizar: La capacidad que tiene la energía producida por las microondas para calentar en forma selectiva los cristales de hielo dentro del material, permite acelerar las etapas finales de liofilización, se obtiene un mayor rendimiento y una gran eficiencia en el uso de energía, lo que trae como consecuencia una disminución en el precio del producto (6,47,164,172).

20. Papas fritas: En el proceso por microondas las papas se frien a temperaturas inferiores y se alcanza un contenido de humedad menor que por el proceso tradicional; por lo que se disminuye el problema principal que se debe a las reacciones de Maillard, que se dan durante el paso final de fritura de las papas. Por lo mismo, se pueden utilizar variedades de papas con un alto contenido de azúcares (80,164,192).

21. Secado final de alimentos: El calentamiento por microondas elimina velozmente la humedad residual, es más limpio, calienta uniformemente, se obtiene un producto de igual o mejor calidad en factores como color y textura, que por los métodos tradicionales, se reducen los requerimientos de espacio y se da un ahorro de energía considerable (108,197).

En Japón se utiliza para obtener polvo de yema de huevo, de una alta calidad, ya que es altamente poroso y reacciona ins-

tantáneamente cuando se le añade agua caliente (72). También se aplica en la producción de polvo de naranja a partir de un jugo preconcentrado, como una base para la elaboración de una bebida instantánea (12) y en el secado de granos (73).

22. Templar o atemperar: Esto involucra un calentamiento del material congelado a una condición de descongelamiento parcial, para que se procese posteriormente. El templado por los procesos comunes requiere para ciertos alimentos de varios días. El calentamiento por microondas, provee de una cantidad predecible de calor dentro del producto presindiendo de la conductividad térmica y así, el tiempo es de unos pocos minutos. Se obtiene un producto al que se le puede hacer un mejor control de calidad y tiene un rendimiento mayor (26,47).

23. Tostar granos: Para obtener chocolate en polvo se necesita tostar los granos de cacao y remover sus cáscaras. En un proceso de tostado por microondas, hay menor producción de humo, el equipo permanece frío, la temperatura interna que se alcanza es inferior a la de los métodos convencionales y da una producción de 70 a 120 Kg/hora dependiendo del contenido de humedad del grano crudo. Sin embargo es necesario hacer una evaluación sensorial, por lo que no se ha realizado aún a nivel industrial (72).

### 1.1 MICROONDAS:

Las microondas representan sólo una parte de la radiación del espectro electromagnético (133). Las radiaciones electromagnéticas se componen de paquetes de energía que se conocen como "quantum" (176). Se puede describir la naturaleza cuantizada de las ondas electromagnéticas al decir que estas ondas sólo pueden absorberse o emitirse en unidades definidas de energía, que se

llaman fotones; el contenido de energía de un fotón depende de la frecuencia de la radiación, ya que la energía del fotón está dada por la siguiente ecuación (57).

$$E = hf$$

E = energía.

h = constante de Planck, cuyo valor es de  $6.625 \times 10^{-27}$  erg seg.

f = frecuencia de la radiación.

Las radiaciones se pueden considerar como una combinación de ondas eléctricas y magnéticas que viajan a través del espacio en línea recta, o como una partícula compacta y neutra en movimiento (54,176).

La diferencia entre los componentes de las radiaciones del espectro electromagnético, radica en sus distintas frecuencias, longitudes de onda y por lo tanto en el contenido de energía (176). Para las ondas electromagnéticas periódicas hay una relación entre la velocidad de la onda, la frecuencia de oscilación y la longitud de onda, la cual es (57).

$$\lambda = v/f$$

$\lambda$  = longitud de onda.

v = velocidad de propagación de la luz, que en el vacío es de  $3 \times 10^8$  m/seg.

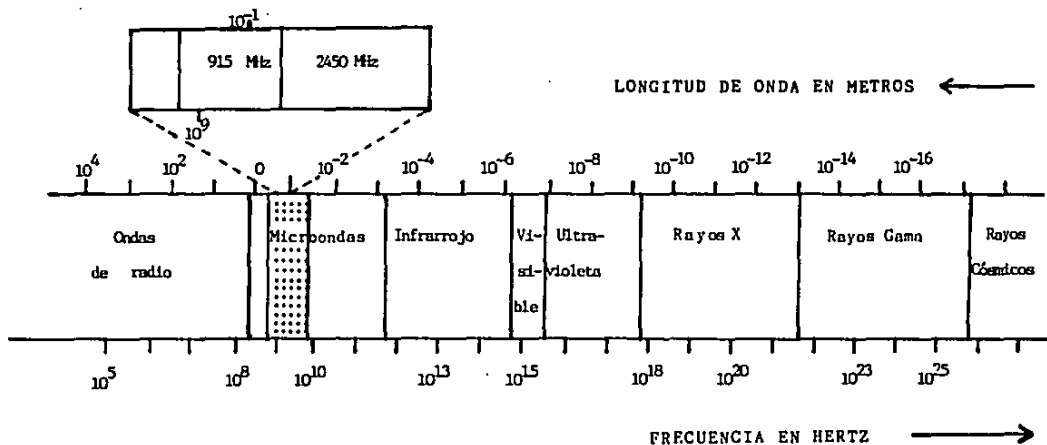
f = frecuencia.

Las radiaciones de acuerdo a la energía que tienen se pueden clasificar en:

Ionizantes: Son aquellas radiaciones electromagnéticas que surgen de la energía alternante de los orbitales de los electrones y partículas nucleares respectivamente. Ellas pueden ionizar a otros compuestos, ya que tienen suficiente energía para po-

FIGURA 1.

Regiones que ocupan las distintas radiaciones en el espectro electromagnético (78).



⦿ Región donde se localizan las frecuencias asignadas por la Federal Communications Commission para la aplicación de Microondas en procesos de alimentos.

Fuente: Goldblith (1966).



der separar electrones de las moléculas que se encuentran a lo largo de sus rutas, de modo que se forman iones cargados eléctricamente, que son capaces de causar cambios químicos en materiales cercanos. Los rayos cósmicos, gamma, X, ultravioleta pertenecen a este tipo de radiación (54,176,208).

No ionizantes: Estas radiaciones tienen longitudes de onda mucho más largas que las anteriores, no poseen suficiente energía para ionizar a otros compuestos. En este tipo de radiaciones están las microondas, ondas de radio, infrarrojo y visible (53,126). En la figura 1 se muestra la región que ocupan las distintas radiaciones; de acuerdo a su frecuencia y longitud de onda en el espectro electromagnético. (78).

Las microondas dentro del espectro electromagnético se encuentran entre las ondas ultracortas de radio y las infrarrojas; se diferencian de las demás radiaciones electromagnéticas por su frecuencia que va desde 300 a 300 000 Mega Hertz, su longitud de onda que abarca de 1 m a 1 mm y por la energía que contienen (54,130,190,208).

## 1.2 PROPIEDADES:

Las microondas viajan a la velocidad de la luz, pasan fácilmente a través de algunas sustancias como el aire y muchos, aunque no todos los tipos de vidrio, papel y materiales plásticos; otras como los metales las reflejan o las absorben como en el caso del agua y otros componentes de los alimentos, con los cuales al interactuar causan un calentamiento, ya que ellas son una forma de energía, que se transforma en calor (172,186,190,192).

### A) Reflexión, interferencia y refracción:

Reflexión: Un buen conductor, tal como una hoja de metal, es un reflector de las microondas, porque los electrones en el metal en presencia del campo eléctrico de la onda se mueven de tal forma que reducen el campo eléctrico a cero. La respuesta de las cargas eléctricas en el metal causa una onda reflejada que se regresa desde la superficie del metal (57).

Interferencia: Si un rayo de microondas se dirige perpendicularmente hacia una lámina metálica, el rayo se reflejará, y en la región cercana a la lámina habrán dos ondas con la misma longitud que viajan en direcciones opuestas, de modo que el campo de la onda que se refleja se opone al de la onda incidente, estos dos campos se cancelan y se da un efecto de interferencia destructiva (57).

Refracción: Si un rayo de microondas choca con una interfase entre dos regiones con propiedades dieléctricas diferentes, la dirección de viaje de las ondas cambiará. Las mismas leyes gobiernan la dirección de los rayos incidentes y refractados, tanto en el caso de la luz visible como en el de las microondas (57).

B) Absorción de las microondas y polarización de las moléculas del material:

Los alimentos pueden absorber la energía de las microondas, lo cual provoca que las moléculas del alimento actúen como dipolos (o sea que tienen una carga positiva y otra negativa en los lados opuestos de la molécula), ya sea por polarización permanente (moléculas polares como la del agua) e por polarización inducida (moléculas no polares), e intenten alinearse por ellas mismas con el campo eléctrico alternante, esto provoca una fric

ción intermolecular, lo cual se manifiesta como calor (15,78, 133,172,186,192).

Las moléculas pueden ser polares (las cargas están asimétricamente distribuidas), o no polares (las cargas se distribuyen simétricamente). Si se aplica un campo eléctrico, las cargas positivas experimentan una fuerza de atracción y las negativas una de repulsión al campo; en el caso de las moléculas no polares esto causa un desplazamiento de las cargas desde su arreglo simétrico original y la molécula empezará a polarizarse. Esta polarización inducida es la que permite el calentamiento de moléculas de aceite y tejido graso en un horno de microondas, así como de moléculas polares que tienen regiones no polares (57).

La energía que un alimento puede absorber al estar bajo la acción de un campo electromagnético es proporcional a la constante dieléctrica del material, al factor de disipación o de pérdida y a la frecuencia de vibración del campo. La disipación de la energía en calor trae como consecuencia un aumento de la temperatura en el interior del alimento (164).

La absorción de las microondas disminuye al subir la temperatura, aumenta al incrementarse la frecuencia del campo y también con el tamaño de las partículas (195).

### G) Energía en las ondas electromagnéticas:

Desde el punto de vista del calentamiento electrónico, la propiedad más importante que poseen las ondas electromagnéticas es su energía y su equivalente térmico, ya que esta energía se transporta por las ondas desde el generador, hasta el material que se calentará. La energía se mide en unidades de potencia

eléctrica o watts de acuerdo a la expresión:

$$P = IV$$

P = potencia en watts.

I = intensidad de corriente en amperios.

V = diferencia de potencial en voltios.

De acuerdo a la ley de Ohm:

$$V = RI$$

R = resistencia en ohms.

Por lo tanto:

$$P = I^2R$$

El término  $I^2R$  da la pérdida ohmica, o sea es una medida de la disipación de la energía eléctrica en calor.

La ley de Joule dice que (47):

Energía calorífica = k x potencia x tiempo

k = constante = 0.24 calorías/joule.

D) Mecanismo de calentamiento:

a) Mecanismos:

El calor se transmite por alguna de las siguientes formas:

Convección: Es la propagación del calor desde las regiones más calientes hacia las más frías, por movimiento real de la sustancia. Se da una mezcla física de un gas o un líquido entre una parte del fluido con otra (81).

Conducción: Es la transmisión del calor que se hace por contacto molecular, en este caso no hay un desplazamiento apre-

ciable de las partículas de los cuerpos. Este tipo de transmisión se presenta en sólidos (81).

Radiación: Es la propagación del calor por medio de la energía radiante bajo la forma de ondas, la cual no es por ella misma calor, pero se convierte en calor a través de la absorción y por su interacción con las moléculas absorbentes (145).

En el calentamiento convencional el calor se aplica en la superficie externa y se dirige hacia el interior del alimento, de manera que las capas sucesivas de moléculas se calientan cada una a su vez, esto produce un desnivel de temperatura, en que el exterior puede quemarse mucho antes de que la temperatura suba en el interior (15,172). La conductividad térmica de los alimentos no es alta, de modo que el tiempo necesario para que el interior del alimento alcance la temperatura de cocimiento es bastante largo (57).

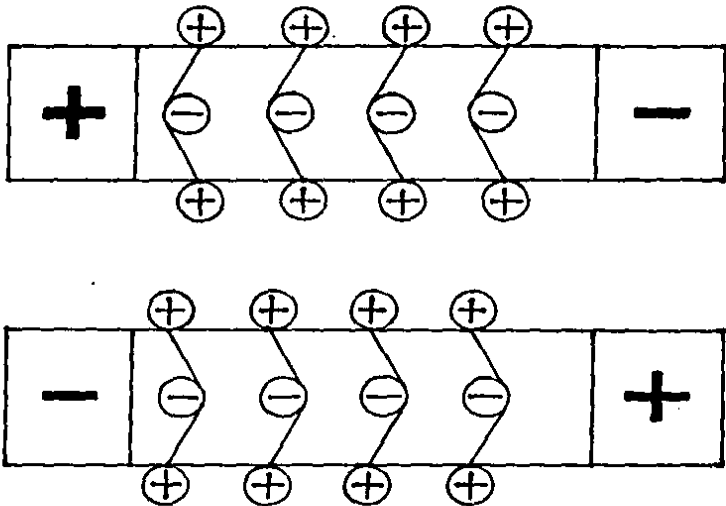
Hay tres tipos de calentamiento electrónico: inducción, dieléctrico y microondas.

Microondas: Cuando un alimento se calienta por microondas, la energía se deposita dentro del alimento y así el tiempo para que el alimento se cocine se reduce. Es necesario conocer los mecanismos por los cuales la energía de microondas se transforma a energía térmica para comprender algunos de los efectos que causan las microondas (57).

En el mecanismo de calentamiento por microondas la conversión de la energía de microondas a energía térmica consta principalmente de tres pasos que son: absorción, polarización y pérdida ohmica. El primer paso es la absorción de las microondas y la degradación de la energía a vibraciones térmicas de las moléculas del material absorbente (57). Las microondas pe-

FIGURA 2.

Oscilación molecular (78).



Fuente: Goldblith (1966).

netran a los alimentos uniformemente hasta una profundidad de varios centímetros, provocan la oscilación de las moléculas para alinearse con el campo alternante (polarización), lo que convierte la energía eléctrica a movimiento molecular (15,57,172, 190). Las moléculas no pueden oscilar libremente a tan alta velocidad, ya que actúan sobre ellas otras fuerzas que se oponen a este movimiento, por lo que se produce una fricción intermolecular, la cual genera calor que cocina al alimento (Ver figura 2). Como las microondas pasan a través de los materiales en forma uniforme, producen un efecto de volumen de calor (92), ya que el resultado es una ebullición interna que elimina la humedad; el vapor también calienta a los sólidos adyacentes por conducción. Mientras se está convirtiendo el agua libre en vapor, la temperatura de todo el alimento sube muy poco por arriba del punto de ebullición del agua, salvo si el vapor dentro del alimento se encuentra bajo algo de presión, mientras trata de escaparse (172).

b) Factores que afectan el calentamiento por microondas:

- 1) Temperatura inicial: Si la temperatura inicial del alimento es alta, el calentamiento por microondas será más rápido. No se recomienda que se calienten alimentos que estén en estado de congelación, ya que las microondas penetran más en el hielo que en el agua, pero el grado de absorción es menor para el hielo que para el agua, de modo que se dará un sobrecalentamiento en las áreas descongeladas y una falta de cocimiento en las congeladas (92,158).
- 2) Densidad y homogeneidad: Los materiales densos ofrecen mayor resistencia a las microondas, por lo que tardan más tiempo

en cocinarse. Entre más heterogéneo sea el alimento, será mayor la absorción de las microondas por el mismo y menor el tiempo necesario para que se cocine (92,158).

3) Forma: El calentamiento de piezas de carne de forma regular en un horno de microondas es más uniforme, que el de piezas irregulares (92).

4) Cantidad de alimento: Si se aumenta la cantidad de alimento que se cocinará en un horno de microondas, se incrementa también el tiempo. Hay una relación lineal entre el tiempo de cocción y la cantidad de alimento. Por cada porción adicional se necesita aproximadamente el doble del tiempo que se emplea para una porción (92).

5) Alza de la temperatura después de salir del horno: El cocimiento continúa y la temperatura del alimento se eleva hasta un punto que depende de la conductividad térmica del alimento (92).

6) Utensilios: Se debe tener cuidado en seleccionar utensilios propios para procesar los alimentos por microondas. Este punto se ampliará más adelante (92).

7) Distribución de la energía en el horno: Si la energía se distribuye de forma desigual, la cocción del alimento no será uniforme. Los patrones de calentamiento del horno se afectan por la clase del alimento que se cocine, la forma y los cambios físicos y químicos que sufre el mismo durante su cocción (92).

8) Composición: Las sustancias que tienen diferencias en su estructura celular y molecular absorben a la energía de microondas de diferente forma (186); así las microondas tienen afinidad por las grasas, sal, azúcares y agua, de modo que los productos que contienen altas concentraciones de estos ingredientes, se cuecen más rápido (158).



B) Factor de pérdida:

Un dieléctrico (mal conductor eléctrico), al estar bajo la acción de un campo eléctrico alternante, absorbe algo de la energía del campo la cual se convierte en calor dentro del dieléctrico, a esto se le llama pérdida dieléctrica (208).

La pérdida dieléctrica se basa en el tiempo de relajación o de retardo, que es el tiempo (generalmente una fracción de mi crosegundo), que demoran las partículas en responder (orientarse) al influjo del campo alternante, o el tiempo que necesita para regresar a su desorientación original. El tiempo de relajación depende de la viscosidad del medio, que ha su vez es fun ción de la temperatura. La pérdida dieléctrica involucra el efecto total de disipación de energía de las distorsiones elásticas, deformaciones y desplazamientos, que ocurren por la esti mulación del campo que se aplica y las fuerzas de restauración. Por estas dos fuerzas a altas frecuencias ocurre sólo una polarización parcial. La acumulación de dipolos y de sus momentos inducidos por el campo determinan la constante dieléctrica. La constante dieléctrica permanece igual o disminuye al aumentar la frecuencia (47).

La frecuencia a la cual la absorción es máxima, se denomina frecuencia crítica y es específica para cada dipolo, su campo y su medio, los cuales se combinan para dar el tiempo de relajación. A esta frecuencia alcanza un máximo la energía disipada por las distorsiones elásticas, deformaciones y desplazamientos (47).

Se emplean los términos "factor de pérdida" y "tangente de pérdida", para indicar la energía que las microondas pierden o ceden al atravesar o ser completamente absorbidas por varios mg

teriales bajo condiciones determinadas (172,208). La cantidad de pérdida varía al depender de la frecuencia de radiación, temperatura, y naturaleza del material. El aumento de pérdida de un material está en relación directa con el aumento de absorción de la energía de microondas y por lo tanto de la producción de calor (Ver figura 3) (54,190). Los materiales que absorben las microondas con mucha facilidad, se dice que son "perdedores", el agua sirve como un buen ejemplo y ésta se calienta fácilmente en un campo de microondas (54,172).

La "tangente de pérdida", es la tangente del ángulo de pérdida que se forma entre la corriente total y la corriente alimentada (Ver figura 4). Esta tangente relaciona la corriente cedida a través del dieléctrico con la corriente alimentada y es de especial interés en el calentamiento por microondas. Es función de la frecuencia, siendo máxima a la frecuencia crítica (47).

La diferencia entre los valores de la constante dieléctrica y la pérdida tangente de los diversos materiales, son la causa de que ciertas sustancias se calienten rápidamente, mientras que otras lo hagan lentamente, o incluso no se calienten al encontrarse dentro de un campo de microondas. Estos dos parámetros constituyen el llamado "factor de pérdida dieléctrica" (47).

$$E'' = \tan \delta \times E'$$

$E''$  = factor de pérdida.

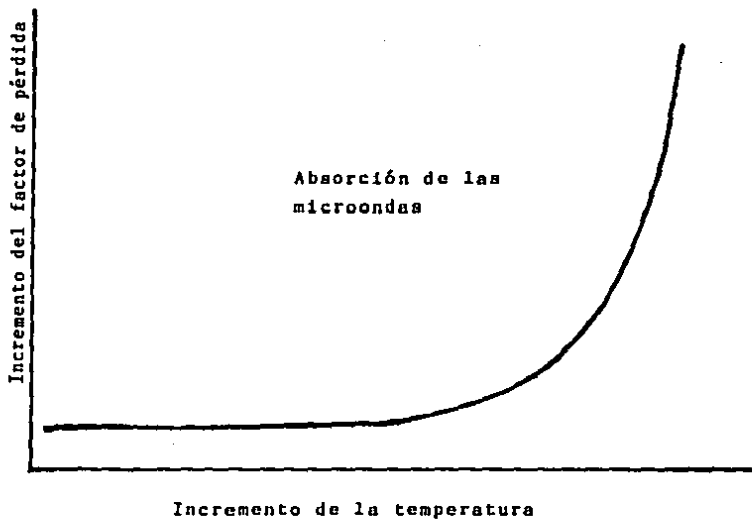
$\tan \delta$  = pérdida tangente o factor de disipación.

$E'$  = constante dieléctrica.

El factor de pérdida dieléctrica es la medida global de la habilidad de un material para responder cuando se expone a un

FIGURA 3.

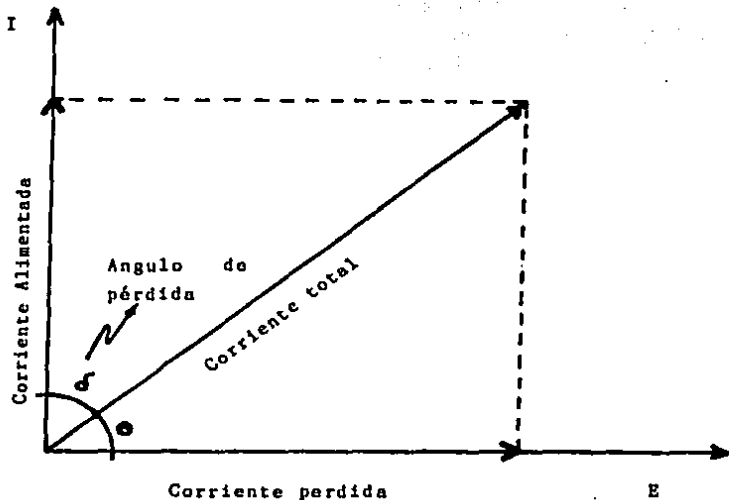
Absorción de las microondas (190).



Fuente: Schiffmann (1979).

FIGURA 4.

Representación vectorial de la relación que existe entre las corrientes involucradas en un dieléctrico (164).



Fuente: Okress (1968).

campo electromagnético, lo que trae como consecuencia la generación de calor dentro del cuerpo (47).

F) Penetración:

En el calentamiento por microondas, el calor se genera dentro del material y el calentamiento es independiente de la conducción térmica y dependiente del grado de penetración de las microondas dentro del material (44); esta penetración depende a su vez de las características dieléctricas de los diferentes materiales. Mientras mayor sea la absorción de las microondas por un material, menor será su penetración. El factor de pérdida también nos indica el grado de penetración de las microondas en los materiales, ya que las microondas a medida que penetran van perdiendo energía en forma de calor, de modo que cuanto mayor sea el factor de pérdida y cuanto mayor la cantidad de calor que se produce, más corta será la distancia por la que podrán penetrar las microondas antes de que se consuma toda su energía. En algunos materiales, las microondas a la frecuencia de 900 MHz sufren mayores pérdidas de energía que a 2450 MHz, en tanto que lo contrario sucede en otros materiales. Cuando se desea una penetración profunda en cierto material, se escoge la frecuencia de microondas que tenga el factor de pérdida más bajo. Por ejemplo, las microondas de 900 MHz penetran el agua a una profundidad de 7.5 cm, en tanto que las de 2450 MHz penetran sólo 1.25 cm (172).

La penetración será infinita en sustancias transparentes como el vidrio, papel, cerámica; nula en materiales reflexivos como los metales, y tendrá un valor finito para materiales malos dieléctricos como los tejidos, alimentos, etc. (47).

La profundidad de penetración de la energía de microondas se define como la profundidad a la cual la energía de las microondas se disminuye un 36.8 % de su valor original y se puede calcular (47,101).

$$Z = \frac{1}{\alpha} = \frac{\lambda_0}{2\pi} \left[ \frac{2}{\epsilon' [(1 + \tan^2 \delta)^{1/2} - 1]} \right]^{1/2}$$

- Z = Distancia o profundidad de penetración a la cual la energía se abate un 36.8 %.
- $\lambda_0$  = Longitud de onda de la radiación correspondiente a la frecuencia que se usa.
- $\epsilon'$  = Constante dieléctrica del material.
- $\tan \delta$  = Factor de disipación o tangente del ángulo de pérdida.
- $\alpha$  = Factor de atenuación.

Este valor de Z para el hielo a  $-12^{\circ}\text{C}$  y 3000 Mc es de cerca de 20 m, lo cual significa que a una distancia de 20 m, la energía se disminuye en un 36.8 % de su valor original, de modo que la distancia de atenuación en este caso es bastante grande (47.80).

La profundidad de media potencia es el espesor del material al cual la potencia se reduce a la mitad de su valor original (47).

En los materiales con una textura porosa y abierta penetran las microondas más fácilmente, mientras que los materiales densos ofrecen una mayor resistencia (54). Se ha visto que la penetración de las microondas en los alimentos aumenta conforme se incrementa el contenido de humedad (161).

#### G) Elección de la frecuencia:

La frecuencia es el número de ciclos completos de corriente que se producen por un generador de corriente alterna (las cargas eléctricas se mueven por el conductor, una vez en una dirección y luego en la opuesta), en un segundo (12,81).

Como las frecuencias de las microondas están muy cerca de las de radioondas, pueden obstaculizar las comunicaciones. La Federal Communications Commission, permitió el uso de ciertas frecuencias para aplicaciones industriales, científicas y médicas, con el fin de evitar interferencias con las transmisiones de radar, radio y televisión (Ver tabla 2). Las frecuencias que se asignaron para su aplicación en procesos de alimentos por dicha comisión fueron de 915 y 2450 MHz por segundo (47,57, 80,130,172).

Uno de los mayores problemas que se presentan en los procesos que usan la energía de microondas para calentar, es la elección de la frecuencia óptima, ya que para ello cada situación y uso particular deben analizarse con sus propios parámetros y requerimientos, por medio de la experimentación. Al calentamiento de un material lo afectan varios factores como son: la frecuencia, temperatura, composición química, características físicas del material, etc., de modo que algunos alimentos se cocinan más satisfactoriamente a una frecuencia que a la otra, mientras que en otros casos se pueden aplicar ambas frecuencias con excelentes resultados (84,161).

Para lograr elegir la frecuencia más propia es necesario considerar los siguientes factores:

- Características físicas del material (forma, tamaño, etc.).
- Profundidad de penetración de las microondas en el mate

TABLA 2.

Frecuencias permitidas por la Federal Communications Commission para usos industriales, científicos y médicos (78,80).

Frecuencia (ciclos/seg)		Longitud de onda (cm)
$13\ 560 \times 10^3$		2 200.00
$27\ 120 \times 10^3$		1 100.00
$40\ 680 \times 10^3$		735.00
$915 \times 10^6$	++	32.80
$2\ 450 \times 10^6$		12.24
$5\ 800 \times 10^6$		5.17
$22\ 125 \times 10^6$		1.36

++ Estas frecuencias también son permitidas en Europa, a excepción de la frecuencia de  $915 \times 10^6$  ciclos/seg que es reemplazada por la de  $896 \times 10^6$  ciclos/seg.

Fuentes: Goldblith (1966) y Goldblith et al. (1975).



rial a ambas frecuencias.

- Conocimiento de las propiedades dieléctricas del material, lo cual en el caso de los alimentos es bastante difícil de lograr, ya que tienen una naturaleza heterogénea, de modo que sus componentes principales difieren en sus propiedades de pérdida dieléctrica.

- Costo de la fuente de poder al aplicar una frecuencia en particular.

- Requerimientos de potencia a ambas frecuencias (78,80).

Por lo tanto, el proceso de microondas debe desarrollarse sobre bases altamente selectivas y tomando en cuenta la mutua interacción entre el alimento y las condiciones del proceso (161).

## 2. EQUIPO, MATERIAL DE EMPAQUE Y RECIPIENTES QUE SE USAN EN LOS PROCESOS POR MICROONDAS.

### 2.1 HORNOS:

#### A) Generalidades:

Un horno de microondas es una caja o cavidad que se diseña con el propósito de calentar alimentos por medio de la energía de microondas. En estos hornos el calor se genera dentro de la masa del alimento como resultado de vibraciones de sus moléculas, causadas por absorción de las radiaciones electromagnéticas (47, 145).

Los hornos de microondas se pueden clasificar en:

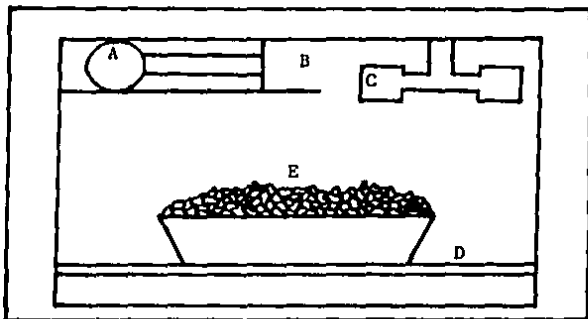
- Unidades de bajo poder, que operan a niveles menores de 1 KW hasta 2 KW; aquí entran los hornos de uso doméstico.
- Unidades de alto poder, que operan a niveles que van desde unos pocos KW hasta 100 KW y se usan en procesos industriales (47).

En las figuras 5 y 6 se muestran las partes principales de un horno de microondas, las cuales son:

1. Fuente abastecedora de poder: Provee de energía eléctrica al generador, con el voltaje correcto, la corriente, estabilidad y características necesarias para cada modelo (164,208).
2. Generador o magnetrón: Es el componente más importante del horno. Es un tubo electrónico dentro de un campo magnético, o sea un diodo (un tubo al vacío con dos electrodos, el ánodo y el cátodo), que convierten la energía eléctrica aplicada entre el ánodo y el cátodo en energía de microondas; consiste de un ánodo cilíndrico (conectado al polo positivo de la fuente de poder) con un espacio central, a través del cual pasa el cátodo, que al

FIGURA 5.

Cavidad de un horno de microondas. (78).

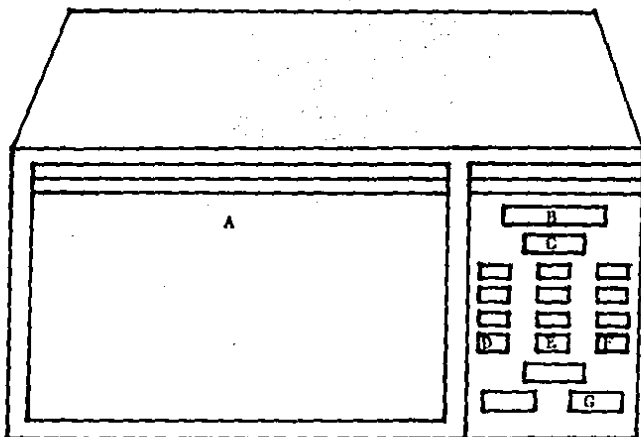


- A) Tubo de poder
- B) Guía de onda
- C) Distribuidor
- D) Plataforma que permite el paso de las microondas
- E) Alimento

Fuente: Goldblith (1966).

FIGURA 6.

Exterior de un horno de microondas (164).



- A) Puerta
- B) Botón para abrir la puerta
- C) Reloj
- D) Control del reloj
- E) Control del grado de potencia
- F) Control de la temperatura
- G) Control de inicio del proceso

Fuente: Okress (1968).

calentarse puede emitir electrones que fluirán hacia el ánodo; el cuerpo del ánodo se forma por un número par de cavidades paralelas al eje que se comunican con el espacio central por medio de una ranura; cada cavidad es un circuito resonante, que es una fuente del campo oscilante de la energía de microondas y está diseñado de manera que la frecuencia de resonancia sea la misma en cada cavidad e igual a la frecuencia de oscilación de la energía de microondas que se desea (Ver figura 7.) (164).

Además del campo eléctrico que se forma por el potencial del ánodo, las cavidades resonantes que están también al vacío crean un campo magnético en una dirección paralela al eje cilíndrico. (8,172).

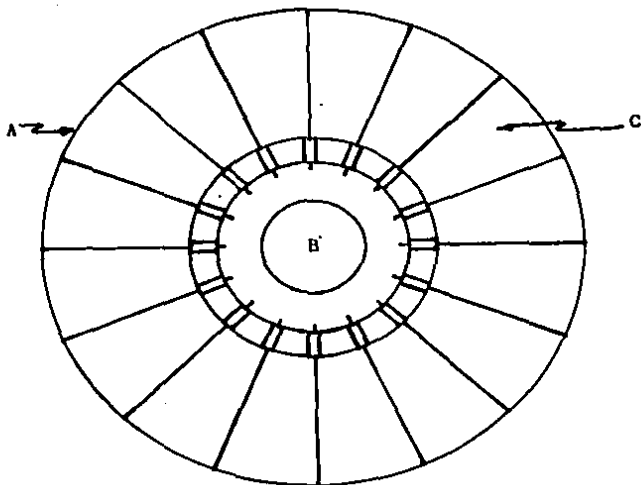
Cuando se alcanza el voltaje apropiado a través del diodo, resulta una interacción entre el campo eléctrico y el magnético y se forma una nube radial de electrones que giran a velocidad constante y ceden energía al campo oscilante (de microondas). Las cavidades se acoplan mutuamente, de modo que se puede extraer energía de todas ellas y la energía que se colecta se radia desde una antena a la sección de transmisión (47,164).

Parte de la energía que llega al magnetrón se convierte también en calor en el ánodo, por la colisión de los electrones con él, por lo que hay una cierta pérdida de energía, de modo que la eficiencia de los magnetrones es de un 55 a 60 %. El calor que se produce en el ánodo debe disiparse al utilizar un sistema de enfriamiento por circulación forzada de aire o agua, con el fin de aumentar la vida del magnetrón (47).

Para aplicaciones en las que se requiere de altos niveles de poder de microondas, se puede usar un magnetrón grande o varios más pequeños que trabajen juntos (172).

FIGURA 7.

Corte transversal de un magnetrón (164).



- A) Anodo
- B) Cátodo
- C) Cavidades resonantes

Fuente: Okress (1968).

3. Sección de transmisión: Consta de una guía de onda, que es un conductor no metálico, que transporta las microondas desde el magnetrón a la cavidad del horno por reflexiones de una pared a otra (8,164).

4. Sistema de distribución: Varía continuamente la distribución de la energía en la cavidad del horno, para que el alimento se cocine uniformemente. Para lograr este hay dos métodos: el más común es aquel en que se equipa al horno con un ventilador metálico que distribuye las microondas a través del interior de la cavidad, a medida que rebotan y se reflejan entre las paredes metálicas del mueble. El segundo emplea una plataforma giratoria, en la que se deposita el alimento, el cual cambia constantemente de posición (8,47,164,172).

5. Cavidad del horno: Es el recinto de metal en donde se coloca el alimento para cocinarse. Las paredes metálicas de dicha cavidad reflejan las microondas en muchas direcciones. Los metales que generalmente se usan para construir dichas paredes son aluminio, acero inoxidable o cinc recubierto con barniz acrílico o epoxi (8,143,172,208).

La uniformidad en la distribución de la energía, depende de la habilidad del fabricante para armonizar las dimensiones de la cavidad del horno, con el campo electromagnético (8)..

El alimento se pone sobre una repisa, que está a unos pocos centímetros del fondo del horno, de un material como vidrio, cerámica o plástico, que permiten el paso de las microondas que se reflejan desde el piso del horno hacia el alimento, el cual queda expuesto a las radiaciones por todos lados; de modo que se logra un calentamiento más rápido y uniforme (8,172,208).

6. Controles de operación para seleccionar las condiciones del

proceso: Los más simples consisten de un botón de encendido y de un reloj, algunos hornos tienen un botón de apagado. Los hornos más elaborados cuentan con controles electrónicos en forma de microprocesadores; estos últimos cuentan con luces indicativas, señales de audio (que indican cuando termina el proceso), sensores de humedad y de temperatura que ponen final automático al proceso (8,143,164,208).

7. Sistema de seguridad: Este inciso se ampliará posteriormente.

A nivel industrial se utilizan equipos de microondas de procesamiento continuo; éstos tienen forma de túnel con bandas transportadoras sin fin, hechas de un material que reduce la pérdida de energía sobre las cuales se conduce el alimento que pasa cerca de unos magnetrones. Generalmente están abiertos en sus extremos de entrada y salida con el fin de recibir y descargar el producto y se previene el escape de las microondas por medio de materiales que absorben las radiaciones desviadas, reflectores metálicos que las devuelven al horno y por otros medios (172).

#### B) Seguridad de los hornos de microondas:

Para evitar la exposición innecesaria del operador de un horno de microondas a estas radiaciones, en 1968 se publicó en Estados Unidos una Ley que da regulaciones estrictas para dichos hornos (208).

Los receptores de televisión a color emiten muy bajos niveles de rayos X, los cuales son radiaciones ionizantes, mientras que las microondas son radiaciones no ionizantes; ambas radiaciones tienen efectos muy diferentes sobre los tejidos biológicos.



Este se ampliará posteriormente (57).

En 1971 se publicó una Ley en Estados Unidos, que indica que la emisión de microondas de cualquier superficie del horno, no debe exceder a una distancia de 5 cm del horno de  $1 \text{ mW/cm}^2$  al salir de la fábrica y de  $5 \text{ mW/cm}^2$  después de ser usado. La intensidad de las microondas disminuye con el inverso del cuadrado de la distancia y el operador generalmente estará a una distancia mucho mayor de 5 cm, por lo que estará expuesto a un mínimo de radiación (57).

La puerta del horno es muy importante, ya que no sólo permite el acceso a la cavidad, sino que confina las radiaciones de microondas a la misma. La puerta tiene una pantalla para ver el interior de la cavidad del horno, pero no permite el paso de las microondas a través de ella. También la puerta cuenta con dos cerraduras internas de seguridad, para prevenir que ésta se abra mientras está en operación, una de las cerraduras está oculta para evitar que se juegue con ella. En el caso de una falla eléctrica de un componente del horno las cerraduras deben permanecer efectivas; si las cerraduras fallan, el horno no debe operar. Con el fin de evitar el escape de las radiaciones, la puerta del horno debe ajustarse perfectamente con el marco de la misma. Además existen varios tipos de sellos de puertas, para impedir posibilidad fugas de microondas.

- Sello del tipo metal-metal, el cual es una placa delgada de metal que refleja a las microondas y las confina en el interior del horno; cuando se cierra la puerta, la placa de metal se presiona en contra de la superficie del horno.

- Sello de goma de hule, su efectividad depende del buen contacto con la puerta y el interior del horno y reduce el esca-

pe de la energía de microondas (8,19,57,143,208).

Aunque el sistema de seguridad es bastante eficiente, el usuario debe seguir una serie de precauciones para minimizar los riesgos. No debe jugar con las cerraduras, asegurarse de que los alimentos no atoren la puerta y que las bisagras y cerrojos de la misma funcionen correctamente, limpiar, enjuagar y secar el marco de la puerta y la puerta para que se de un buen contacto y que los sellos no se dañen, ver que el sello de hule de la puerta esté flexible y limpio ya que este hule tiende a desgastarse y volverse duro y quebradizo por la acumulación de residuos de alimentos y grasas y en este caso, pueden presentarse fugas de radiación. Si la puerta no cierra bien, o puede abrirse mientras el horno opera, ese horno no debe usarse hasta que lo arreglen, es conveniente mandar a revisar el horno una vez al año (130,208).

## 2.2 MATERIAL DE EMPAQUE Y RECIPIENTES QUE SE USAN EN LOS PROCESOS POR MICROONDAS:

Para procesar alimentos por medio de microondas, se necesitan recipientes de materiales con ciertas características como: ser transparentes a las microondas, es decir permitir su paso (sin absorberlas) a través de ellos para que lleguen a los alimentos, soportar temperaturas elevadas, no contaminar el producto, no entrar en reacción con el alimento y no producir olores desagradables durante el proceso. Los materiales con poca tendencia a absorber la energía de microondas permanecen fríos, mientras que el alimento que contienen se cocina, después de un tiempo pueden presentar un cierto calentamiento, el cual se debe a que el alimento cede calor por conducción al recipiente. Entre los materiales que más se emplean en dichos procesos están:

vidrio, cerámica, papel tratado, ciertos plásticos, porcelanas, etc. (157,164,206,208).

Se pretende que los materiales de empaque en los cuales sale el alimento al mercado, sirvan como los recipientes contenidos del mismo cuando se procese por microondas e incluso se desea que en algunos casos el alimento pueda consumirse en ese mismo recipiente, con el fin de tener un ahorro de tiempo y dinero (4).

El recipiente debe tener un tamaño adecuado a la cantidad de alimento que se va a procesar y se debe considerar la expansión que éste puede sufrir en el proceso. Los moldes de forma redonda son mejores que los cuadrados, en los cuales se presenta una sobrecocción en las áreas de las esquinas, ya que en ellas las microondas se absorben por arriba, por abajo y por las esquinas, mientras que en el centro sólo se absorben por arriba y abajo de modo que se cocina más lentamente. Los moldes en forma de rosca son buenos pues eliminan la región del centro que es la que tarda más en cocinarse (47,90,160).

Es importante que los empaques de los alimentos que se van a procesar en un horno de microondas tengan instrucciones claras y precisas, para que el usuario se asegure de poder obtener un producto con las propiedades organolépticas que desea (63,77,175).

#### A) Vidrio, cerámica y porcelana:

Son muy eficaces porque son altamente transparentes a las microondas, transmiten el 95% aproximadamente de la energía de microondas al alimento (47,92,177).

La cerámica por su precio no se usa como material de empaque, sino sólo como recipientes o utensilios para procesar los alimentos. Sus superficies deben estar vidriadas para prevenir

la absorción de los jugos del alimento y facilitar su limpieza. Algunos recipientes de cerámica se recubren en su base interna con una capa de estaño, la cual al poner en el horno el recipiente vacío (sin el alimento), calienta la base del mismo lo suficiente para que la superficie del alimento con la que hace contacto se dore, cuando éste se añade para cocinarse en el horno de microondas (14,47,90).

Se utiliza vidrio refractario resistente al calor, ya que estos recipientes están sujetos a sufrir choques térmicos, que se deben a que el alimento calienta la superficie interna del en vase más que la externa lo que causa una tensión en ésta última; además, cuando el producto ebulle se forman burbujas de vapor que suben desde el fondo y provocan que el alimento caiga, pegue en la base interna del recipiente y se origine una tensión en la superficie externa; a esto se le conoce como cavitación y para disminuirla se debe de llenar el recipiente con el alimento, des taparlo y con el objeto de asegurar un calentamiento uniforme es necesario menear el contenido a la mitad del proceso (177,193,194). Con el fin de evitar que la superficie del alimento se reseque, se puede usar una cubierta de plástico con una pequeña perforación en el centro, de modo que salga sólo un poco de vapor para que la cocción sea más uniforme, además se evitan salpicaduras y derramamiento del alimento. Dependiendo del tipo de cubierta que se use se pueden presentar las siguientes desventajas: ruptura de la cubierta, dificultad de removerla después de cocinar, que se derrita o se quemé. Las cubiertas de saran dan buenos resultados (10,189,208).

B) Metal:

El aluminio es un excelente material de empaque de muchos productos, sin embargo los metales actúan como escudos y reflejan la energía de microondas e impiden que el alimento que contienen se caliente. Cuando se introduce un recipiente de metal en el horno de microondas, existe el riesgo de dañar al magnetrón ya que el recipiente al reflejar a las microondas causa una retroalimentación del magnetrón; en algunos de los hornos modernos, el magnetrón se diseña de forma tal que se previene el daño que puede causar la retroalimentación. Se puede presentar un arco eléctrico cuando el contenedor de metal toca alguna de las pa redes del horno (32,151,208).

En los envases de metal se debe remover la tapa, para permi tir que las microondas penetren por la parte superior, la cual se calienta y el calor se conduce hacia el fondo; como las micro ondas sólo penetran por arriba se puede dar un calentamiento no uniforme y el recipiente no debe ser muy profundo para que se pueda calentar la capa inferior del alimento (3,38).

El objeto de calentar un alimento con microondas es la rapi dez, y el recipiente que lo contiene debe maximizar la energía que llega al alimento; los metales trabajan en contra de esto, por lo que no se consideran un material apropiado para usarse en el procesamiento de alimentos por microondas (3,92).

No obstante, gracias a que los metales reflejan a las micro ondas se pueden diseñar nuevos productos, como un postre en el que el helado está al fondo del recipiente y arriba tiene una salsa de fruta que se calienta mientras el helado permanece frío (158).

Los productores de aluminio diseñaron un empaque en el cual se coloca el envase de metal dentro de una caja de cartón, con lo que se evita la posibilidad de formación del arco eléctrico.

El vapor que se genera dentro de la caja de cartón ayuda a obtener un calentamiento más uniforme, previene la deshidratación de la superficie del producto, no hay posibilidades de salpicaduras o derramamiento del alimento y el contenedor de metal es más rígido y fuerte y no absorbe la humedad ni la grasa (181).

C) Papel, plástico y cartón:

Se han aceptado ampliamente como recipientes para preparar alimentos en los hornos de microondas. Se usa el mismo molde para empacar, transportar, almacenar tanto a temperatura ambiente como de refrigeración, calentar y consumir el alimento; son baratos, fácilmente desechables y algunos de estos moldes se pueden usar en hornos convencionales también (2,46,166).

Estos utensilios deben tener cubiertas impermeables a la humedad y la grasa, las cubiertas no deben ser de cera porque ésta absorbe la energía de microondas, se funde y transfiere sabor al alimento (92,208). Este tipo de recipientes necesitan fabricarse en varias capas o ser laminados con otros materiales con el fin de aumentar su rigidez y proteger más al producto. También se puede incrementar la rigidez al reforzar la base del envase. En algunos casos un molde igual al que contiene el alimento se usa como tapa, lo que permite que se imprima en él la etiqueta, de modo que ya no es necesario otro empaque de cartón que lo contenga y esto reduce el costo del empaque (2,3,47).

Los contenedores de plástico deben ser resistentes a la distorsión que puede provocar el calor que les llega desde el alimento. Se pueden usar materiales tales como polietileno, polipropileno, poliéster, poliuretanos, cloruro de polivinilo, cloruro de polivinilideno, etc. (47,157,189).

**IV. METODOS DE ANALISIS PARA EVALUAR LA CALIDAD NUTRICIA  
Y SENSORIAL DE LOS ALIMENTOS.**

1. ANALISIS PARA DETERMINAR EL VALOR NUTRICIO DE LOS ALIMENTOS.

1.1 HUMEDAD:

a) Métodos de secado:

Estos métodos se basan en la pérdida de agua de la muestra por efecto de la temperatura. El dato se obtiene por diferencia de peso entre la muestra húmeda y la muestra seca (105). Entre estos métodos se encuentran el de calentamiento directo, calentamiento al vacío y el de desecación por el uso de agentes desecantes (168).

b) Métodos de destilación directa:

Implican la destilación a reflujo de los alimentos con un líquido inmiscible con el agua, menos denso que ella y normalmente con un punto de ebullición más elevado, por ejemplo tolueno (168).

c) Métodos eléctricos:

La proporción de agua presente en los alimentos afecta a ciertas propiedades eléctricas, lo cual ha dado lugar a métodos rápidos que se basan en la resistencia eléctrica o en la capacidad (168).

d) Métodos químicos:

Existen dos métodos químicos para la determinación de la humedad: el método del carburo y el método de valoración de Karl Fisher (168).



## 1.2 PROTEINAS:

### A) Determinación del nitrógeno total y proteína cruda:

#### a) Método Kjeldahl:

El método consta de dos fases: 1) Digestión, en la cual se lleva a cabo la destrucción de la materia orgánica y la fijación del nitrógeno como sulfato ácido de amonio; 2) destilación, en donde se libera el nitrógeno que se recibe en una solución de ácido bórico, formando borato de amonio el cual se titula con una solución de HCl 0.1N. Con los datos anteriores se obtiene el porcentaje de nitrógeno que multiplicado por un factor el cual es generalmente de 6.25, nos da directamente el porcentaje de proteína cruda. Este método determina todas las formas de nitrógeno (105).

#### b) Determinación de proteína por el método de Dumas:

Al causarse una combustión de los compuestos orgánicos se da un desprendimiento de  $CO_2$  y los gases que resultan de la combustión se pasan a través de una sal de cobre caliente, de modo que se libera  $N_2$  y este gas se cuantifica por un método volumétrico (168).

#### c) Métodos (colorimétricos) de teñido:

Dependen de la capacidad de combinación de los colorantes aniónicos con los grupos proteínicos de carga iónica contraria (168).

B) Determinación de aminoácidos:

a) Métodos cromatográficos:

Las mezclas complejas de aminoácidos pueden separarse, identificarse y determinarse mediante cromatografía sobre papel o de columnas de intercambio iónico. Estos métodos utilizan las diferencias del comportamiento ácido - básico y/o la solubilidad de los diversos aminoácidos.

En estos métodos se necesita liberar a los aminoácidos de las proteínas, lo cual se hace con una hidrólisis ácida o básica. La hidrólisis ácida da buenos resultados para todos los aminoácidos a excepción de cisteína, cistina, metionina y triptófano que son lábiles bajo las condiciones de una hidrólisis ácida, por lo que se necesitan de otros métodos de análisis. Los aminoácidos cisteína, cistina y metionina primero se oxidan dando compuestos estables en medio ácido y después se liberan con una hidrólisis ácida. La hidrólisis básica se usa para aislar triptófano. Para separar a los aminoácidos de la mezcla de hidrólisis se emplean los métodos cromatográficos y después se cuantifican por métodos colorimétricos y gravimétricos. En la actualidad el procedimiento analítico completo se hace automáticamente con un analizador automático de aminoácidos (165).

b) Métodos microbiológicos:

Estos métodos se basan en que ciertos microorganismos necesitan de la presencia de determinados aminoácidos para crecer. Se siembra el microorganismo en un medio de cultivo al que sólo le falte el aminoácido que se va a estudiar y se compara el grado de crecimiento del microorganismo en el medio de prueba con

el desarrollo del microorganismo en un medio en donde se conozca la cantidad presente del aminoácido en estudio (105).

C) Determinación de la relación de la eficiencia protefínica (PER):

Esta prueba relaciona la ganancia de peso del animal en estudio con la proteína que se consumió, se asume que el incremento en peso es exclusivo de nitrógeno corporal (105).

1.3 LIPIDOS:

A) Determinación de grasa por extracción:

a) Método de Soxhlet:

De una muestra que previamente se secó se extrae la grasa con éter de petróleo, se elimina el solvente por evaporación y se pesa el residuo de grasa (165).

b) Método de Roese-Gottlieb:

Se emplea en el análisis de la grasa de la leche y sus derivados. Se añade a la leche alcohol para precipitar la caseína la cual se disuelve en amoníaco, se extrae la grasa con éter dietílico y éter de petróleo y el contenido de grasa se determina gravimétricamente (105).

B) Composición de los ácidos grasos:

a) Cromatografía gas - líquido:

Los ácidos grasos son convertidos en una forma más volátil (generalmente sus ésteres metílicos), los cuales se separan

por cromatografía gas-líquido (165).

C) Determinación del número del ácido tiobarbitúrico:

El ácido tiobarbitúrico y los lípidos oxidados forman un pigmento rojo cuyo color es tanto más intenso cuanto más avanzado esté el proceso de enranciamiento (168).

1.4 CARBOHIDRATOS:

La concentración de carbohidratos (azúcar y almidón) en un alimento se conoce de manera aproximada restando al 100 % el porcentaje de lípidos, cenizas, agua, fibra cruda y proteínas (168).

A) Determinación de fibra cruda:

La fibra cruda es el residuo orgánico lavado y seco que queda después de hervir sucesivamente el material desengrasando con ácido sulfúrico e hidróxido de sodio diluidos, está compuesta por celulosa, hemicelulosa, lignina y sustancias pécticas (105).

B) Análisis de azúcares: (métodos cualitativos):

Estos métodos son indirectos y se basan en su mayoría en las propiedades reductoras de los azúcares, así tenemos la reacción de Benedict, de Fehling, etc. Estos pueden ser cuantitativos cuando la concentración de azúcares es muy pequeña (168).

C) Análisis de azúcares (métodos cuantitativos):

Las concentraciones exactas de azúcares se pueden determinar por métodos volumétricos, gravimétricos, refractométricos y polarimétricos. La determinación indirecta de azúcares por el refractómetro, se usa más comúnmente para el control rápido

de fábrica. Los azúcares en disolución se expresan en equivalentes de sacarosa. Los métodos polarimétricos se basan en que como los azúcares son ópticamente activos, sus disoluciones tienen la propiedad de girar el plano de propagación de la luz polarizada, la rotación varía según el azúcar, su concentración, la temperatura y la longitud del tubo que se usó (105,168).

### 1.5 MINERALES:

#### A) Determinación de cenizas totales:

Primero se lleva a cabo la destrucción de la materia orgánica por calcinación, después se pesa el residuo inorgánico y se calculan las cenizas totales en porcentaje de la muestra original (105).

Con las cenizas se hacen determinaciones cualitativas y cuantitativas de los minerales.

#### B) Determinación de potasio y sodio por fotometría de la llama:

Se efectúa una digestión de las cenizas y se estima la concentración de sodio y de potasio por medición en un espectro fotómetro a 589 y 766.5 nm, de la radiación de una llama en la que se pulverizó una disolución de la muestra (165,168).

#### C) Determinación de cloruro de sodio:

Los cloruros se precipitan con exceso de nitrato de plata, posteriormente la materia orgánica se oxida con permanganato de potasio en solución ácida. El nitrato de plata que no es usado es determinado por titulación con tiocianato. El contenido

de cloruro de sodio se calcula en base a la cantidad de nitrato de plata que se utilizó (165,168).

D) Determinación de fosfato:

a) Determinación de fosfato mediante el método volumétrico del fosfomolibdato:

Los meta y pirofosfatos deben convertirse primero en ortofosfato, el cual reacciona con molibdato en presencia de ácido nítrico. El precipitado amarillo de fosfomolibdato amónico formado reacciona cuantitativamente con álcali, cuyo exceso se valora con ácido (168).

b) Determinación de fosfato por un método colorimétrico:

El ortofosfato reacciona con molibdato en solución ácida obteniéndose ácido fosfomolibdico; este compuesto es reducido por el ácido ascórbico dando un compuesto de un color azul intenso, el cual se mide colorimétricamente (165,168).

E) Determinación de calcio como oxalato por valoración con permanganato:

El calcio se precipita como oxalato a pH 4, el oxalato se disuelve en ácido sulfúrico y el ácido oxálico que se libera se valora con una disolución de permanganato potásico de normalidad conocida (168).

F) Determinación de cobre:

Se añaden citrato amónico y etilendiamino-tetracetato disódico a la disolución de cobre, se ajusta el pH a 8.5. La disolu-

ción se agita con una disolución de dietiltiocarbonato de dietilamonio en tetracloruro de carbono. El complejo de cobre que se forma es de color amarillo pardo, pasa de la capa acuosa a la de tetracloruro de carbono y su densidad óptica se mide a 436 nm (168).

G) Determinación de hierro con 2,2 dipiridilo:

Este método se basa en que las sales ferrosas con el 2,2 dipiridilo dan un catión complejo divalente, rojo intenso, en soluciones de ácidos minerales, cuya densidad óptica se mide a 520 nm (168).

H) Determinación de cinc por valoración extractiva con empleo de ditizona:

A la disolución acuosa de cinc procedente de las cenizas de la muestra se le añade mediante una bureta, una disolución de ditizona en cloroformo. Se agita fuertemente después de cada adición y se alcanza el punto final cuando no se forma más ditizona coloreada, lo que indica que todo el zinc ha reaccionado (168).

I) Determinación de manganeso:

A las cenizas se les añade una solución de cloruro férrico y se neutraliza con hidróxido de amonio; el precipitado que se formó se disuelve con ácido clorhídrico y acetato de sodio, se hierve y el filtrado se lava con agua hirviendo. Se añade agua de bromo hasta que la solución colorea, se diluye con hidróxido de amonio y el precipitado que se forma se seca y se pesa (165).

J) Determinación de magnesio:

Una vez que se obtienen las cenizas del alimento se disuelven en ácido clorhídrico diluido. La solución se rocía en la flama de un aparato de absorción atómica y la absorción del magnesio se mide a una longitud de onda de 285.2 nm para determinar la cantidad del mineral presente en la muestra (165).

## 1.6 VITAMINAS:

Los métodos que se usan con mayor frecuencia para la determinación de vitaminas son:

### a) Métodos microbiológicos:

Estos métodos se basan en el hecho de que ciertos microorganismos necesitan de determinadas vitaminas para su crecimiento. El medio de cultivo contiene todos los nutrientes necesarios para que el microorganismo crezca a excepción de la vitamina que se va a analizar. El desarrollo del microorganismo en el medio de prueba se compara con el desarrollo de éste en un medio que contenga una cantidad conocida de la vitamina. El crecimiento del microorganismo se cuantifica por métodos turbidimétricos o por titulación del ácido que el microorganismo produce durante su desarrollo (87,105).

### b) Determinación de vitaminas por cromatografía líquida de alta presión (HPLC):

La cromatografía líquida da mejores resultados que la cromatografía de gas, provee de un rango muy amplio de métodos para la detección y separación de compuestos, ofrece la posibilidad de que una gran variedad de vitaminas se determinen por este método a partir de un sólo extracto de alimento (7,13,61,87).



## 2. EVALUACION SENSORIAL:

La evaluación sensorial es una disciplina científica que se usa para medir, analizar e interpretar las reacciones que tienen los sujetos a aquellas características de los alimentos y materiales, que son percibidas por los sentidos (111).

### 2.1 CLASIFICACION DE LOS METODOS DE EVALUACION SENSORIAL SUBJETIVA:

I. Pruebas analíticas: Se usan para la evaluación del producto en términos de diferencias o similitudes y para identificación y cuantificación de las características sensoriales:

1. Pruebas discriminativas: Se necesita de preferencia de jueces entrenados.

a) Pruebas diferenciales: Sólo indican si las muestras son diferentes, por ejemplo la prueba del triángulo, comparación pareada, duo-trío, etc.

b) Pruebas de sensibilidad: Miden la habilidad de las personas para detectar las características sensoriales, por ejemplo pruebas de dilución, umbral, etc.

2. Pruebas descriptivas: Se necesitan de preferencia jueces entrenados y miden las características cuantitativa y cualitativamente, por ejemplo análisis descriptivo, proporción de la escala, etc.

II. Pruebas afectivas: Se emplean para evaluar la preferencia y/o aceptabilidad de un producto. Los jueces pueden ser personas sin un entrenamiento previo. Entre este tipo de pruebas están: preferencia pareada, rango, clasificación, escala hedónica.

ca, etc. (1,110,111,201).

Cuando se dan cambios en los procesos por los cuales se obtiene un producto se efectúan pruebas diferenciales que nos indiquen si el producto nuevo es diferente al viejo y pruebas afectivas para establecer cual de los dos productos gusta más.

Para poder llevar a cabo una evaluación sensorial apropiada es necesario hacer una buena selección de los jueces, emplear en diversas pruebas a jueces entrenados y a consumidores, cuidar las condiciones del lugar en donde se va a efectuar el análisis, controlar la preparación de la muestra y la forma como ésta se presenta a los jueces y por último hacer una correlación de los resultados que se obtienen de las pruebas sensoriales con los que indican las medidas químicas y físicas (1,171,201).

- Los métodos que se usaron para la evaluación sensorial en las referencias que se consultaron son:

a) Comparación pareada:

Se evalúan dos muestras simultáneamente o secuencialmente; una aplicación simple de este método es la prueba de preferencia pareada en donde el juez indica cual de las dos muestras prefiere en base a un atributo específico. Se necesitan de jueces entrenados (130).

b) Escala Hedónica:

Se usa para medir el nivel de gusto de la población por un producto; se puede aplicar a pruebas preferenciales o de aceptación del producto; en esta prueba los jueces expresan su grado de gusto o disgusto por el producto confiriéndole a la muestra una puntuación de una escala, que va desde el extremo de una total

desaprobación hasta el de una aprobación total. En este método pueden calificar al producto tanto jueces entrenados como consumidores (111).

La escala tradicional es de nueve puntos, sin embargo existen variaciones como son escalas de cinco, seis, siete puntos, sustitución de las expresiones verbales por caricaturas, uso de valores positivos y negativos, etc. La puntuación de la escala hedónica se convierte a calificaciones numéricas y se aplica un análisis estadístico para determinar las diferencias entre las muestras (1,23,174).

c) Análisis estadístico de los datos obtenidos:

El análisis de varianza es un tipo de análisis estadístico que se basa en:

- Dividir las sumas de los cuadrados entre los grados de libertad.
- Estimar la desviación estándar de la población por dos o más métodos.
- Comparar estos datos, para ver si las diferencias existentes son reales o solamente se deben a diferencias en los experimentos.

Nota: Se deben de calcular los grados de libertad y las sumas de los cuadrados del número de observaciones y del número de muestras; la diferencia entre la suma de los cuadrados de las observaciones y la suma de los cuadrados de las muestras nos da los grados de libertad de las observaciones y los grados de libertad de las muestras nos proporciona los grados de libertad del error (1,174).

## 2.2 PRUEBAS OBJETIVAS:

### A) Color y brillo:

El color de los alimentos no sólo ayuda a determinar su calidad sino que puede decirnos muchas otras cosas como pueden ser fallas en el proceso o empaclado del alimento, etc. (1).

Para determinar el color de un alimento, si éste es líquido es posible emplear varios tipos de colorímetros o espectrofotómetros, en estos aparatos se coloca un tubo con el líquido en una ranura y luego se dirige a través del tubo la luz de una longitud de onda seleccionada, el grado de absorción de la luz dependerá del color e intensidad del líquido; este tipo de aparatos también pueden medir la claridad o turbidez de un líquido mediante la cantidad de luz que deja pasar. Si el alimento es un sólido o un líquido podemos medir su color al compararlo con los colores definidos de discos o azulejos; estos existen en cientos de tonos y son identificados por un número (172).

El color se puede medir también en forma mucho más precisa. La luz reflejada por un objeto de color puede ser dividida en tres componentes a los que se ha denominado con los términos de valor, matiz y croma. El valor se refiere a la claridad u obscuridad del color, el matiz a la longitud de onda predominante que determina si el color es rojo, verde o amarillo y el croma se refiere a la intensidad del color. El color de un objeto puede definirse con precisión en términos del valor numérico de estos tres componentes; ésto se conoce como colorimetría de estímulo triple y es la base de varios instrumentos de medición de color, como por ejemplo el medidor de color y de diferencia de color de Hunter, el cual mide estos valores cromáticos en la superfi-

cie del alimento. Las muestras de alimento que coinciden en los mismos tres números son del mismo color. Estos números varían según el color de una manera sistemática que puede ser reproducida en forma gráfica en un diagrama de cromaticidad.

Como en el caso del color existen instrumentos de medición de la luz, que definen en forma cuantitativa el brillo o lustre de la superficie de un alimento (172).

#### B) Textura:

La textura de los alimentos puede expresarse por medidas de la resistencia a la fuerza (172).

Los penetrómetros son de los aparatos más antiguos que se usan para medir la textura. Miden la fuerza necesaria para que un punzón penetre a una distancia determinada a través del alimento. Nos indica el grado de firmeza del material (172).

Los compresímetros prueban la resistencia del alimento a la compresión, la cual se puede medir como la fuerza necesaria para producir una deformación, o como la deformación que causa cierta fuerza. En este caso el alimento no es punzado o penetrado. Un ejemplo es el succulómetro (33).

Aparatos que cortan los cuales usan un cuchillo el que hace una incisión a través de la muestra, se usan principalmente para determinar la textura de la carne, queso y vegetales que tienen fibra (172). En estos instrumentos se determina la fuerza necesaria que se ejerce sobre el cuchillo para causar la incisión (1).

Viscosímetros La viscosidad es una clase de consistencia, la cual puede considerarse como un atributo de calidad textural. La viscosidad de algunos alimentos se puede medir en términos de su resistencia al flujo, lo cual se logra al determinar el tiempo

que tarda el alimento en escurrir por un pequeño orificio de determinado diámetro; cuanto más espeso sea el alimento, mayor será el tiempo (1,172).

C) Sabor:

El sabor incluye también el olor, que es en parte subjetivo y, por lo tanto, difícil de medir.

Se puede medir el sabor de distintas formas, según cual sea nuestro propósito; una de las maneras es por medio de una destilación fraccionada o una cromatografía de gases la cual nos indica cualitativa y cuantitativamente los compuestos responsables del sabor que estén presentes en el alimento (113).

Algunas sustancias que contribuyen al sabor pueden ser medidas química o físicamente por medio de otros instrumentos como el espectrofotómetro, el refractómetro, brixómetro, etc., así por ejemplo la concentración de sal puede ser medida eléctricamente por su efecto sobre la conductividad de un alimento en solución; el azúcar en solución puede ser medido por su efecto sobre el índice de refracción o bien por titulación con un álcali. Sin embargo cuando se trata de la aceptación por el consumidor, aún no existe un sustituto de la evaluación por personas (172).

**V. EFECTO DE LAS MICROONDAS EN EL VALOR NUTRICIO  
DE LOS ALIMENTOS.**

## 1. HUMEDAD:

El efecto que causan los diferentes métodos que se usan para cocinar alimentos sobre el contenido de humedad y rendimiento de los mismos, se ha estudiado casi exclusivamente en productos cárnicos.

Apar et al., observaron que el músculo de la carne que se asó en la forma acostumbrada, tuvo un contenido de humedad más alto que el que se asó por microondas (9). También se encontró en otro estudio, una mayor pérdida de humedad en la superficie de carne que se cocinó convencionalmente (54). Janicki y Appledorf en 1974, reportaron datos que indicaban una mayor disminución en la humedad de los pastelillos de carne que se cocinaron por microondas al compararlos con otros métodos de cocción (Ver tabla 3) (112). Otras referencias cuyos resultados concuerdan con los anteriores son: Healy y Jacobson (1960), en coráere (95), Wing y Alexander (1972), en pechugas de pello (207), Zippin y Carlin (1976), en hamburguesas (211), Moore et al. (1980), en bisteces (159), Madeira y Penfield (1985), en rodaballo (139), Costello et al. (1985), en carne (48).

Una excepción fue el estudio de Korschgen y Baldwin (127), quienes indicaron que no hubo diferencias significativas en la pérdida de humedad de carne rebanada que se cocinó por calor húmedo en un horno de microondas y la que se preparó en uno convencional. También Voris y Van Duyn en 1979, obtuvieron resultados similares (206).

Hawrysh et al., investigaron el efecto del calentamiento por microondas con aplicación de energía intermitente y del calentamiento tradicional sobre la pérdida de peso y de humedad en



TABLA 3.

Efecto del método de cocción sobre el rendimiento y humedad en pastoles de carne (112).

TRATAMIENTO	PESO (g)	RENDIMIENTO (%)	HUMEDAD (g)
Grudo	107.5 ± 2.8	100	67.6 ± 2.3
Hervir (50 seg)	73.1 ± 5.3	67.4 ± 4.6	42.5 ± 4.1
Freir en parrilla (a 375°C, 4 min)	73.3 ± 3.7	67.8 ± 3.3	42.4 ± 3.4
Microondas (95 seg a 2450 MHz)	64.4 ± 2.5	59.7 ± 2.4	36.2 ± 2.2
Hervir-freir-microondas (75 seg a 2450 MHz)	59.8 ± 2.6	55.3 ± 2.6	30.4 ± 2.9

Fuente: Janicki y Appledorf (1974).

carnes. Ambos fueron menores en el tratamiento común que en el de microondas (93).

Drew et al., en 1980, cotejaron la disminución en el peso de rebanadas de carne que se rostizaron desde estados de congelación y descongelación en un horno de microondas a niveles de poder alto y "simmer" (cocer a fuego lento) frente a un horno común. La carne que se rostizó en el horno de microondas a un nivel de poder alto presentó el menor rendimiento, mientras que el rendimiento fue semejante tanto para la carne que se rostizó en el horno de microondas a un nivel de poder "simmer" como en el horno tradicional. Cuando se coció la carne congelada y sin congelar por el mismo método no hubo diferencias importantes (68). Hall y Lin, llegaron a resultados semejantes a los que obtuvieron Drew et al. (68). Mc Neil y Penfield en 1983, publicaron que la pérdida total por cocción y los índices de humedad no difirieron entre el pavo que se asó en un horno convencional a  $77^{\circ}\text{C}$  y el que se asó en un horno de microondas a un nivel de poder medio a  $77^{\circ}\text{C}$ . Debe notarse que los hornos que se emplearon en estos estudios tenían niveles variables de poder y probablemente los hornos que se usaron en otros estudios anteriores no (147).

Riffero y Holmes en 1983, hallaron que la retención de humedad en la carne que se coció por microondas (a 2450 MHz, 455 W y a una temperatura final de  $80^{\circ}\text{C} \pm 6^{\circ}\text{C}$ ) era mayor que cuando ésta se hirvió (a una temperatura interna final de  $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  por 24 mins) (185).

En 1951 se evaluaron en vegetales congelados los efectos de diferentes métodos de cocción (en dos hornos convencionales, en superficie caliente, hervir en una bolsa y por microondas). Los vegetales que se calentaron por microondas exhibieron una mayor pérdida de peso (54). Eneart y Gott en 1967 (70), compararon

los efectos que tenían los métodos de cocción por microondas y convencional para cinco vegetales (brocoli, espinaca, frijol, papa y chícharo), que se prepararon sin añadirles agua; nuevamente los vegetales que se trataron con microondas tuvieron mayor reducción en el peso. Esto parece señalar que, independientemente de la cantidad de agua que se añadía, es el calentamiento por microondas el que causa que la pérdida de peso sea mayor.

Dahl y Matthews en 1980, encontraron que tanto en la carne como en los vegetales el rendimiento disminuyó, conforme el tiempo de cocción por microondas aumentó, lo cual se debió al incremento de la pérdida de humedad y en el caso de la carne por el de la grasa también (Ver tabla 4) (59).

Dahl et al. en 1982, señalaron que el recalentamiento por microondas (a 2450 MHz, a una temperatura interna final de 74°C y a 2860 W) causó una disminución de 9 % más en el peso de hamburguesas que el recalentamiento por conducción (de 18 mins) o por convección (30 mins a 177°C). No obstante en el caso de las papas y los chícharos el recalentamiento por convección provocó una mayor pérdida de peso. Esto parece indicar que la pérdida de peso no depende sólo del sistema de recalentamiento y el producto (60).

Como se aprecia, los datos que se publicaron en algunos casos son opuestos, esto quizás se deba a la inconsistencia entre la temperatura del horno convencional y el de microondas, a las diferencias existentes entre los productos, más que al método de cocción o a la variabilidad de las condiciones en que se efectuaron las diversas investigaciones (13,147).

Es importante hacer notar que en muy pocos estudios se dan

TABLA 4.

Rendimiento y pérdidas por goteo y por evaporación en alimentos que se calentaron por microondas (59).

Tiempo de calentamiento (seg)	Temperatura final (°C)	Rendimiento (% en peso)	Promedio de las pérdidas por:	
	Promedio	Promedio	evaporación (% en peso)	goteo (% en peso)
<b>Milanesa</b>				
20	31.8	97.5	1.8	0.7
50	63.6	91.3	7.0	1.7
80	81.8	80.8	17.0	2.2
110	90.1	70.2	26.7	3.1
<b>Papas</b>				
25	26.8	97.2	2.8	—
45	40.1	93.9	6.1	—
65	52.9	89.4	10.6	—
85	69.0	83.1	16.9	—
<b>Frijoles congelados</b>				
20	27.3	98.7	1.3	—
50	93.8	95.8	4.2	—
80	93.9	85.8	15.0	—
110	92.4	75.0	25.0	—
<b>Frijoles enlatados</b>				
20	29.3	98.0	2.0	—
40	71.6	96.0	4.0	—
60	89.3	89.0	11.0	—
80	93.7	80.0	20.0	—

Fuente: Dahl y Matthews (1980).

datos sobre el contenido de agua antes y durante el cocimiento del alimento (54).

Parece ser que la pérdida de humedad es mayor en los alimentos que se cocinaron por microondas; sin embargo, en investigaciones recientes en las que se usaron hornos con niveles de potencia variables, cuando se usaron niveles medios y bajos no se presentaron diferencias importantes con respecto a los alimentos que se cocinaron en forma tradicional (63,75,147).

## 2. PROTEINAS:

### A) De origen animal:

Se han efectuado pocos estudios sobre los cambios de las proteínas de la carne que se cocina por microondas.

Roberts y Lawrie en 1948, investigaron los efectos de la temperatura sobre el porcentaje de proteína cruda miofibrilar, en el calentamiento convencional y por microondas. El daño del músculo aumentó con el calor y la duración de exposición. Los valores para la proteína insoluble se incrementaron rápidamente en el músculo que se calentó de forma tradicional a las temperaturas comprendidas entre los 50° y 70°C, mientras que el músculo que se calentó por microondas exhibió un aumento en forma más gradual, por lo que se dedujo que este calentamiento puede ayudar a que se de una mayor retención de la proteína total en los alimentos (187).

Baldwin et al., reportaron que las costillas cocinadas por microondas tuvieron valores de nitrógeno más altos que las que se cocinaron a 66°C por un método común; además los valores de nitrógeno contenido en el caldo de goteo fueron significativamente menores en las costillas que se prepararon por microondas (17). Estos resultados están de acuerdo con los que han publicado otros autores (54).

Penner y Bowers en 1973, manifestaron que la cantidad de proteína contenida en el lomo de puerco que se cocinó a 77°C previamente, no se afectó durante el recalentamiento convencional a 55°C o por microondas (169).

Baldwin et al., cocinaron por microondas a 1054 W y a 492 W músculo de res, de puerco y piernas de cordero deshuesado com

parandolas con las que se cocinaron en un horno de gas. Baldwin et al., encontró que la carne que se cocinó a 492 W presentó una mayor retención de proteína que la que se cocinó de forma común, la cual no difirió significativamente con la que se cocinó a 1054 W (18).

Korschgen y Baldwin en 1978, obtuvieron que el contenido de aminoácidos libres difirió poco entre la carne de res que se cocinó por calor húmedo en un horno de microondas y la que se cocinó en un horno común, así mismo no hubo variaciones importantes en las fracciones de proteínas (127). En estudios similares no se encontraron alteraciones en la concentración de aminoácidos y nucleótidos en piernas de cordero (54).

Bodwell y Womack en 1978, compararon los efectos de varios métodos para calentar que se usan en instituciones (microondas, vapor a presión, infrarrojo y por convección) sobre el valor nutricional de cinco productos alimenticios frescos o congelados (puré de papa, chicharos con cebolla, frijoles con salchichas, asado de res con gravy y pescado empanizado). Para los cinco productos que se estudiaron la composición de aminoácidos no varió marcadamente con el tratamiento que se empleó. Se hizo un ensayo con ratas para ver la disponibilidad de ciertos aminoácidos esenciales. Para algunos productos se observaron diferencias notables entre los distintos tratamientos, pero si se toman en cuenta todos los valores de los cinco productos en todos los tratamientos, se sugiere que las diferencias entre los procesos son de poca importancia ya que no estuvieron relacionados de forma consistente; por lo tanto se concluyó que ninguno de los sistemas que se usaron para preparar los alimentos causó cambios importantes en el valor nutricional de las proteínas (30).

En 1979, en muestras de carne de tejido visceral y procesada de res y puerco que se cocinaron de varias maneras (por ebullición, microondas y fritas), se evaluó la calidad de sus proteínas, la cual se determinó por el crecimiento del protozoario Tetrahymena pyriformis (71). El valor más alto fue para las muestras de carne de tejido visceral y procesada de res y puerco que se hirvieron, siguió el tratamiento con microondas y por último el de fritura, proceso que dañó considerablemente a la proteína. Este estudio también indicó que la concentración de aminoácidos y de proteína aumentó cuando la carne de tejido visceral y procesada se hirvió. Evans et al., supusieron que la ebullición incrementa la extracción de compuestos de nitrógeno de bajo peso molecular (por lo que es mayor el porcentaje de proteínas), así como de compuestos de nitrógeno solubles que no son aminoácidos (por lo que aparece un aumento en la proporción de aminoácidos dentro de la fracción remanente de proteína cruda) (Ver tablas 5,6). Sin embargo, en la carne visceral el contenido de proteína total y de aminoácidos no varió con respecto al de la carne cruda, esto indica que la fracción de nitrógeno en los órganos es probablemente más baja en componentes fácilmente solubles que en el tejido muscular (71).

Se obtuvieron resultados que señalan que el calentamiento por microondas no altera la susceptibilidad de las proteínas de pescado (bacalao) al ataque de las enzimas proteolíticas, es decir que no se modifica la digestibilidad de las proteínas del pescado (54).

Se descongelaron dos variedades de camarones por inmersión en agua a 18°C y por microondas a 915 MHz. Las muestras de camarones descongeladas por microondas mostraron valores signifi-



TABLA 5

Efecto del método de cocción sobre el contenido de proteína en carne (71).

Muestra	Concentración (% de proteína)			
	Gruda	Freir	Hervir	Microondas
<b>Carne de tejido</b>				
Lomo de res	91.8	92.0	94.3	89.9
Anca de res	90.1	92.1	93.1	92.3
Trozo de res	89.2	88.2	91.9	90.9
Lomo de puerco	90.5	91.7	90.4	92.8
Jamón fresco	89.8	89.8	91.4	89.9
Espaldilla de puerco	<u>90.0</u>	<u>90.4</u>	<u>92.4</u>	<u>90.6</u>
$\bar{X}$	90.2	90.7	92.3	91.1
<b>Carnes de órganos</b>				
Corazón de res	80.9	83.8	84.7	83.9
Hígado de res	76.7	76.2	78.6	78.7
Corazón de puerco	82.7	82.5	85.2	84.6
Hígado de puerco	<u>80.7</u>	<u>79.6</u>	<u>78.5</u>	<u>81.0</u>
$\bar{X}$	80.3	80.5	81.8	82.1
<b>Carnes procesadas</b>				
Salami	64.4	64.0	64.6	64.6
Pepperoni	67.0	68.7	65.1	64.3
Mortadela Bologna 1	61.5	62.7	66.0	68.8
Mortadela Bologna 2	59.0	60.3	61.9	63.1
Jamón de almuerzo	83.6	79.7	84.1	82.3
Jamón ahumado	<u>85.5</u>	<u>78.5</u>	<u>83.3</u>	<u>82.2</u>
$\bar{X}$	70.2	69.0	71.5	70.8

La carne se hirvió por 10 mins, se cocinó por microondas durante 70 seg y por fritura a 160°C por 3 mins.

$\bar{X}$  = promedio

Fuente: Evans et al. (1979).

TABLA 6

Efectos del método de cocinado sobre el contenido total de aminoácidos esenciales en carne y productos cárnicos (71).

Muestra	Concentración (% de aminoácidos esenciales)			
	Cruda	Freír	Hervir	Microondas
Carne de tejido				
Lomo de res	45.64	45.31	47.46	45.45
Anca de res	46.39	45.53	46.88	46.88
Trozo de res	44.45	45.28	46.14	46.37
Lomo de puerco	45.51	46.06	46.87	45.95
Jamón fresco	43.67	44.55	46.74	46.20
Espaldilla de puerco	<u>43.95</u>	<u>45.89</u>	<u>47.18</u>	<u>45.93</u>
$\bar{X}$	44.94	45.44	46.88	46.09
Carne de órganos				
Corazón de res	42.25	43.05	42.48	44.42
Hígado de res	42.16	42.45	42.43	42.52
Corazón de puerco	42.77	41.64	42.95	43.58
Hígado de puerco	<u>41.97</u>	<u>41.63</u>	<u>41.91</u>	<u>42.16</u>
$\bar{X}$	42.48	42.19	42.39	43.17
Carnes procesadas				
Salami	36.45	35.78	37.98	35.49
Pepperoni	35.19	35.23	38.84	36.75
Mortadela Bologna 1	36.15	36.39	39.65	34.09
Mortadela Bologna 2	40.82	37.93	38.97	37.93
Jamón de almuerzo	40.58	42.37	46.47	41.15
Jamón ahumado	<u>43.32</u>	<u>42.20</u>	<u>41.80</u>	<u>40.73</u>
$\bar{X}$	38.75	38.30	40.60	37.70

La carne se hirvió por 10 mins, se cocinó por microondas durante 70 seg y por fritura a 160°C por 3 mins.

$\bar{X}$  = promedio.

Fuente: Evans et al. (1979).

cativamente más altos de proteínas, por lo que se concluyó que el uso de microondas para descongelar alimentos puede reducir la pérdida de proteínas en cantidades considerables (Ver tabla 7) (54).

Bookwalter et al. en 1982, evaluaron los efectos del calentamiento a 915 y 2450 MHz en la calidad de un alimento que es una mezcla de leche, maíz y soya. En el calentamiento a 915 MHz hubo una seria deterioración de la proteína al llegar a los 80°C y por arriba de esta temperatura, por lo que el proceso de be hacerse a temperaturas inferiores a 80°C. En el calentamiento a 2450 MHz no se detectó ningún cambio cuando la temperatura del proceso fue de 67°C o menos, sin embargo a 77.8°C y a 82.2°C se dio un valor inferior en la disponibilidad de lisina y en la relación de la eficiencia proteínica (PER) (31).

#### B) De origen no animal:

En un estudio se investigaron los efectos de diversos métodos de cocción (hervir por 30 min, hornear a 218°C por 60 min o por microondas durante 30 min), sobre la composición de cuatro variedades de papas (con cáscara y sin cáscara). El tratamiento por microondas favoreció la retención de proteínas sobre los otros métodos (54).

Se presentaron datos relacionados con el contenido de nitrógeno no proteínico, nitrógeno total, proteínas y aminoácidos en el tejido medular y en la corteza de papas que se hornearon de una forma convencional y en un horno de microondas. Al hornear de manera común, el calentamiento es más prolongado y el calor penetra desde el exterior al tejido interno, por lo que se da un daño más grande en el área de la corteza, esto va de acuerdo con la disminución del nitrógeno total, de proteínas y

TABLA 7

Composición aproximada de camarones sin cabeza crudos, descongelados con agua o con microondas (54).

	Variedades de camarones	
	1	2
% de proteína (descongelado en agua)	16.57	16.68
% de proteína (descongelado por microondas)	18.66	17.48
Diferencia del contenido de proteína (% del peso total)	2.09	0.81

1 Louisiana café

2 Columbia blanco

Fuente: Cross y Fung (1982).

de los aminoácidos libres y totales. La disminución del nitrógeno no proteínico en la corteza y su aumento en la médula se puede deber a una migración de compuestos con nitrógeno desde una parte del tubérculo a otra. Al hornear por microondas el daño es mayor en el tejido medular, ya que el calor se genera dentro de la papa en un tiempo corto y se da un alza rápida de temperatura, lo cual causa que el agua dentro de la célula se convierta en vapor y su veloz expansión provoca que las células se rompan y se pierdan los compuestos volátiles, esto concuerda con la disminución del nitrógeno total, de proteína, de nitrógeno no proteínico y de aminoácidos totales y libres. De esto se deduce que cuando la papa está sin cáscara y sin el tejido adherente, el calentamiento convencional es superior con respecto al contenido de nutrientes que el de microondas (125,126).

Se ha observado la susceptibilidad al proceso de calentamiento de las proteínas en los alimentos que tienen grandes cantidades de carbohidratos, porque ocurren una serie de interacciones entre ellos y se forman compuestos que son resistentes a los procesos normales de digestión (54). Al hornear el pan se presentan las reacciones de Maillard entre los aminoácidos libres y grupos de azúcares reductores y se produce el característico dorado del pan. Estas reacciones reducen el valor nutricional del pan, particularmente cuando los aminoácidos esenciales como lisina son los que se involucran en dichas reacciones. (205). Teen et al., cotejaron los efectos sobre el valor nutricional de la proteína en panes que se hornearon de varias formas; en el que se hornó de forma convencional se presentó una menor eficiencia de la proteína del pan, ya que aparte de la pérdida de lisina por las reacciones de Maillard, otros aminoácidos co-

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

mo la argenina, la histidina, el triptofano, la tirosina y la metionina pueden sufrir cambios que los convierten en compuestos no digeribles, mientras que con el calentamiento por microondas no se dan estas reacciones por lo que se logra un mejor aprovechamiento de los nutrientes del pan (205).

Hill en 1979, señaló que al aumentar el contenido de humedad de soya desde un 20, 40 a 60 % antes de que se sometieran a un proceso de secado por microondas para elaborar un alimento a base de plátano y harina de soya, también se incrementa el valor nutritivo de la proteína. El peso más alto que ganaron los ratones y el valor de PER mayor se logró con el frijol que tenía 60 % de humedad, el de 40 % fue intermedio y el de 20 % fue el menos satisfactorio. Según estudios que se hicieron parece ser que un 60 % de humedad en el frijol de soya puede proporcionar una protección óptima en contra de la pérdida de lisina. No se notó ninguna diferencia entre los frijoles con diversos porcentajes de humedad en cuanto a la inactivación del factor antitripsico, por lo que las variaciones en el valor nutritivo de la proteína no se deben a la actividad de dicho factor (100).

En 1981 Chung et al., presentaron un artículo sobre el efecto en el valor nutritivo de chícharos que se hirvieron en 100 ml de agua durante 12 mins. También se cocieron en 100 ml de agua en un horno de microondas a 2450 MHz por 6 mins. El calentamiento por microondas causó una retención menor de varios aminoácidos como histidina, glicina, cisteína y metionina que el calentamiento común. La destrucción del inhibidor de tripsina fue ligeramente mayor por el calentamiento con microondas (43).

Es necesario desactivar los factores antinutricionales de

la soya por medio de un calentamiento, el cual si se hace con la energía de las microondas es más rápido (dos o tres mins) (54,173).

Los efectos de la energía de microondas sobre las proteínas parece que son muy pequeños; inclusive en la mayoría de los artículos que se citaron se obtuvieron resultados que indican un daño menor en las proteínas de los alimentos que se trataron con microondas, o si no, por lo menos un daño semejante al que se causó en las proteínas de los alimentos que se procesaron por otros métodos.

Una de las causas posibles de que los alimentos que se cocinan por microondas muestren un valor nutritivo más alto se debe probablemente, a que en este proceso no se presentan las reacciones de Maillard, mismas que reducen el aprovechamiento de los nutrientes del alimento.

Es importante hacer notar que el daño a las proteínas fue mayor cuando se incrementaron el tiempo de exposición, la temperatura o el nivel de poder; así como que en el calentamiento por microondas se presenta una lesión mayor en el tejido medular, mientras que en el calentamiento convencional se da en el tejido de la superficie.

### 3. CARBOHIDRATOS:

Los carbohidratos son una de las fuentes más importantes de energía para los seres vivos (91).

Se ha observado que en la elaboración del pan el exceso de alfa amilasa al hornear la masa hidroliza al almidón y forma dextrinas pegajosas que producen un pan inaceptable, de migaja pegajosa. Este defecto se elimina si se inactiva rápidamente el alfa amilasa por un calentamiento veloz de la masa a través de ella, en vez de una penetración de calor desde el exterior (22).

Después de realizar una investigación bibliográfica extensa, sólo se encontró un estudio con datos sobre la composición de los carbohidratos en alimentos expuestos a la energía de microondas. Jones y Griffith en 1969, usaron un horno al que modificaron ligeramente para secar hierba fresca y compararon las muestras que se secaron de manera convencional con las muestras que se secaron por microondas. La hierba que se secó por microondas fue significativamente más alta en carbohidratos que las otras muestras (115).

Como se dijo anteriormente, las reacciones de Maillard se llevan a cabo entre un grupo aldehído o cetona proveniente de los azúcares reductores y un grupo amino de los aminoácidos o proteínas, estas reacciones suceden cuando los alimentos se calientan a temperaturas altas y van acompañadas por una reducción de la solubilidad de las proteínas, una disminución en el valor nutritivo, la producción de sabores amargos y el oscurecimiento del producto. En el calentamiento por microondas estas reacciones no se presentan, por lo que se puede suponer que la



fracción de carbohidratos presentes en los alimentos que se pro  
cesan por microondas es mayor que en los alimentos que se tra-  
tan de manera tradicional (11).

Por otra parte, se sabe que las microondas presentan afini  
dad por los azúcares, de modo que los productos que tienen una  
alta concentración de estos ingredientes se cocinan más rápido  
(158).

Se necesita que se efectúen muchos trabajos en esta área,  
para poder determinar el efecto de las microondas sobre los car  
bohidratos.

#### 4. LIPIDOS:

La principal fuente de "rancidez" en los alimentos se origina en la autoxidación de los componentes lipídicos. Existen varios factores que pueden dar inicio a las reacciones de rancidez como son el calor, la luz, las radiaciones ionizantes, etc. Las microondas al ser una forma de radiación electromagnética pueden actuar también como un agente energizador en dicha reacción (54).

En 1972, se calculó el grado de oxidación de los lípidos en pechuga de pavo cruda y en pechuga que se cocinó en fresco o que se recalentó por un método convencional o por microondas. Los valores de ácido tiobarbitúrico (TBA) (170) de las muestras fueron bajos y no difirieron estadísticamente para los tres métodos de calentamiento, pero resultaron más altos que los valores que se obtuvieron para el tejido crudo (54). Johnston y Baldwin en 1980, no encontraron diferencias en los valores de TBA de asado de res que se recalentó por microondas (6.8 mins a 2450 MHz y 525 W) o por un método común (35 mins, en un horno precalentado a 162°C), después de que se almacenó por dos días a 4°C (114).

Fenner y Bowers en 1973, compararon los valores de TBA de lomo de puerco cocinado que se recalentó por microondas o de la forma acostumbrada; estos valores fueron más altos para el puerco que se expuso más tiempo al calor (precocido y recalentamiento convencional), intermedio para el recalentamiento por microondas (el tiempo de exposición al calor fue menor al anterior) y bajo para el lomo que se cocinó fresco (que estuvo el menor tiempo bajo la acción del calor) (169).

Schiller et al., determinaron por el número de TBA, los cambios en los lípidos de pasteles que contenían yema de huevo con y sin añadir ácido linoleico y que se cocinaron en un horno de gas (80 C) y en dos hornos de microondas (a 915 y 2450 MHz). El calentamiento en el horno de gas mostró los valores más grandes de TBA. El número más bajo de TBA fue para la masa cruda. No hubo diferencias importantes en los valores de TBA al comparar las dos frecuencias de los hornos de microondas (Ver tabla 8). De los artículos anteriores se puede deducir que el tiempo de calentamiento, más que la aplicación de las microondas, fue lo que contribuyó a que se presentaran las reacciones de oxidación en una cantidad mayor (191).

Apgar et al., reportaron en 1959, que el músculo de puerco que se rostizó por microondas (a 545 W), tuvo una menor pérdida de grasa que el que se rostizó en un horno común, aunque la temperatura interna que se alcanzó en ambos casos fue de 87.8°C (9).

Kylen et al., cotejaron la pérdida de grasa en milanesas y costillas deshuesadas de res y puerco que se rostizaron en un horno de gas y en uno electrónico. El contenido de grasa de las costillas fue para ambos métodos aproximadamente el mismo, en el caso de la milanesa que se cocinó por microondas hubo una mayor retención de grasa que en la que se preparó en el horno de gas (129).

Dahl y Matthews en 1980, determinaron las variaciones que sufrió el porcentaje de grasa de milanesas de res que se cocinaron de manera tradicional y se recalentaron por microondas durante 20, 50, 80 y 110 seg. El porcentaje de grasa disminuyó conforme el tiempo de recalentamiento fue mayor (59).

TABLA 8

Valores del ácido tiobarbitúrico (TBA) para pasteles (191)

Tratamiento	Tiempo de calentamiento. (min)	Número de TBA.
Horno de microondas, 2450 MHz	2.75	0.560
Horno de microondas, 915 MHz	4.0	0.614
Horno convencional	22.0	0.797
Muestra sin cocinar	—	0.173

Fuente: Schiller et al. (1973).

Drew y Rhee en 1979, publicaron un estudio en el que se incrementó el tiempo de cocción de carne con el fin de que ésta se dorara. Se usaron diferentes métodos (coabincación de un horno de microondas con uno de gas o de un horno de microondas con una parrilla para dorar o sólo en un horno de microondas o en un horno eléctrico convencional). Con el tratamiento en que se combinó la parrilla para dorar y el horno de microondas se retuvo más grasa que por los otros métodos. Esto probablemente se debió a que los otros tratamientos fueron más severos (67).

Voris y Van Duyne en 1979, usaron seis pares de rebanadas de carne en un rostizador convencional (que se precalentó por 15 min a 149°C y se llegó a una temperatura interna de 68.3°C), y en un horno de microondas (a 2450 MHz, hasta alcanzar una temperatura interna de 68.3°C). No se presentaron diferencias entre ambos métodos en el porcentaje de grasa de la carne que se rostizó (206).

Chung et al. en 1981, encontraron que el contenido de grasa de los chicharos no cambió de forma significativa cuando éstos se cocinaron por microondas (a 2450 MHz, 700 W, durante 6.5 mins) o de manera convencional (por 12 mins) (43).

Los artículos anteriores muestran resultados variables con respecto al contenido de grasa de los alimentos, esto se atribuye a que los procesos de cocción se efectuaron bajo diversas condiciones de trabajo, procedimientos y con diferentes productos (54).

Mai et al. en 1980, investigaron los efectos del cocimiento por microondas sobre la composición de los ácidos grasos en los lípidos de algunos alimentos (pollo, tocino crudo, papas, sebo de res, trucha, aceite de cacahuete). En las tablas 9,10 y 11 se puede observar que no hubo diferencias en la composi-

TABLA 9.

Composición de los ácidos grasos de pollo, sebo de res y tocino que se cocinaron por microondas (141).

Ácidos grasos (pt%)	Grasa de pollo		Sebo de res		Grasa de tocino	
	C	M	C	M	C	M
14:0	0.65	0.58	2.67	2.58	0.95	0.96
15:0	0.30	0.30	0.87	0.70	- -	- -
16:0	25.88	24.41	25.62	25.60	26.68	23.85
16:1n7	8.53	8.95	3.70	3.30	2.30	2.70
17:0	- -	- -	1.08	1.10	- -	- -
cis 18:0	0.14	0.14	0.35	0.39	- -	- -
18:0	5.95	5.41	17.99	17.99	16.52	14.81
cis 18:1n9	36.10	37.09	41.07	43.38	44.65	45.44
trans,trans 18:2n6	- -	- -	1.00	1.14	- -	- -
cis,trans 18:2n6	- -	- -	0.23	0.51	- -	- -
cis,cis 18:2n6	22.22	22.3	2.61	2.68	10.32	10.34
20:1n9	0.55	- -	- -	- -	1.37	1.38
20:2n6	0.10	0.09	- -	- -	- -	0.33

pt = peso total

C = crudo

M = Cocinado por microondas

Fuente: Mai et al. (1980).

TABLA 10

Composición de los ácidos grasos de los lípidos de papas crudas y que se cocinaron por microondas (141).

Acidos grasos (pt%)	Papas rojas		Papas blancas		
	Crudo	Microondas		Crudo	Micro- ondas
		1	2		
C16:0	20.54	20.99	18.31	18.08	17.53
C18:0	4.08	4.10	4.21	4.09	4.22
C18:1n9	1.10	0.83	0.83	1.57	1.88
C18:2n6	58.75	58.31	58.31	60.22	61.07
C18:3n6	15.84	15.78	14.97	16.54	15.30
Desconocido	Vestigio	Vestigio	2.50	Vestigio	Vestigio

pt = peso total

1 y 2 técnicas diferentes para la extracción de los lípidos.

Fuente: Mai et al. (1980)

TABLA 11.

Efecto sobre la composición de los ácidos grasos de los filetes de trucha que se cocinaron con microondas (141).

Acidos grasos (pt%)	Crudo		Cocinado con microondas	
14:0	1.72	0.12	1.52	0.06
16:0	12.40	0.89	13.56	1.46
16:1n7	4.79	0.14	4.02	0.67
18:0	4.39	0.13	4.68	0.89
18:1n9	24.57	1.52	23.67	2.01
18:2n6	18.37	0.98	18.42	1.09
18:3n6	1.35	0.06	1.15	0.03
18:3n3	1.03	0.06	0.89	0.04
18:4n3	0.59	0.04	0.57	0.03
20:0	1.93	0.10	1.76	0.10
20:1n9	5.02	0.38	4.17	0.23
20:2n6	0.84	0.04	0.72	0.04
20:3n6	1.19	0.08	1.27	0.08
20:4n6	1.71	0.10	2.56	0.06
20:5n3	1.67	0.03	2.72	0.21
20:1n9	2.54	0.09	2.18	0.09
22:4n6	0.16	0.01	0.28	0.03
22:5n6	0.58	0.02	0.74	0.13
22:5n3	0.42	0.03	0.10	0.02
22:6n3	15.44	1.12	15.23	0.96

La composición de los ácidos grasos se determinó usando como empaque de la columna del cromatógrafo 10 % de silar a 200°C y 10 % de EGSS-X, se empezó a 160°C por dos minutos y se programó a 4°C/min hasta llegar a 210°C. Los filetes se cocinan a 2450 MHz y 600 W.

pt = peso total

Fuente: Mai et al. (1980).



ción de los ácidos grasos del pollo, tocino crudo y papas que se cocinaron por microondas; sólo se presentaron cambios menores en los ácidos grasos de los filetes de trucha que se cocinaron por microondas, pero no se detectó la presencia de isómeros trans. Con el fin de conocer el efecto del tiempo de cocción sobre la posible producción de ácidos grasos trans, el aceite de cacahuete se cocinó por microondas durante 15 min. Los componentes de los ácidos grasos permanecieron invariables y no se encontraron ácidos grasos trans (Ver tabla 12). Estos resultados indican que el cocinado por microondas por sí mismo, no cambió el patrón de los ácidos grasos de esos lípidos; no se presentó isomerización de los ácidos grasos insaturados (141).

Hill en 1979, dio de comer a ratas un alimento con soya que se procesó por microondas; los resultados que se encontraron señalaron que dicho alimento no produjo una acumulación de lípidos en el hígado de estos animales (100).

Se debe hacer notar que no se encontró ningún artículo en que los alimentos que se calentaron por microondas fueran inferiores en cuanto a su contenido y calidad de lípidos, a los alimentos que se calentaron por otras técnicas. Las variaciones que se muestran en los diversos artículos, con respecto al contenido de grasa se atribuyen a diferencias en las condiciones de trabajo, procedimiento y alimentos.

Se puede observar que el tiempo de calentamiento, más que la aplicación de las microondas es lo que contribuyó a que se presentaran las reacciones de oxidación en una cantidad mayor.

TABLA 12.

Composición de los ácidos grasos de aceite comercial de cacahuate que se calentó con la energía de microondas a 675 W (141).

Acidos grasos (pt%)	Tiempo de calentamiento (mins)				
	0	5	7	10	15
16:0	10.36	9.47	9.72	10.42	9.79
16:1n7	0.15	0.15	0.14	0.13	0.11
18:0	2.73	2.78	2.70	2.62	2.69
cis 18:1n9	48.47	48.74	48.81	49.06	49.17
cis,cis 18:2n6	32.27	32.57	32.38	32.36	32.15
20:1n9	1.28	1.28	1.27	1.12	1.20
22:0	3.23	3.26	3.43	3.24	3.07
24:0	1.52	1.66	1.78	1.36	1.77

pt = peso total.

Fuente: Mai et al. (1980).

## 5. MINERALES:

En una investigación se analizó la composición de varios alimentos (zanahoria, frijol, espárrago, tuétano) crudos y después de cocinarse por distintos métodos a varios tiempos y temperaturas. Al usar las microondas se presentó una menor pérdida de nutrientes. Otros investigadores compararon el contenido de ceniza (que es una medida de las sales inorgánicas, las cuales consisten principalmente de sodio, potasio, calcio, cloruros, magnesio y fierro), de cuatro variedades de papas que se prepararon por distintas formas. En este estudio se apreció que el cocinar por microondas permite una mayor retención de nutrientes (54).

Baldwin et al., encontraron que las carnes de res, puerco y cordero que se asaron por microondas retuvieron menos sodio, cloruros, fósforo y fierro que las que se cocinaron por el método convencional (18).

Korschgen y Baldwin en 1978, no obtuvieron diferencias en el grado de retención de fierro y sodio en carne de res que se cocinó por microondas con calor húmedo o que se usó ligeramente en un horno convencional. La retención de potasio fue más alta en la carne que se cocinó por microondas (127).

Chung et al. en 1981, estudiaron el efecto del método de cocción sobre los nutrientes en chícharos (Vigna unguiculata). Tanto el proceso normal (que duró 12 mins) como por microondas (6.5 mins, a 2450 MHz y 700 W), causaron pérdidas similares de calcio, potasio, sodio (42 - 50 %) y de magnesio (22 - 26 %); ésto indica que probablemente el magnesio se encuentra de una forma menos accesible para escurrirse o unirse al agua de coc-

ción. El fierro y el cobre se retuvieron totalmente en amos casos; esto se explica porque probablemente ambos minerales estuvieron totalmente ligados a componentes celulares insolubles (Ver tabla 13) (43).

Klein y Mondy en 1931 investigaron el efecto de hornear por microondas (2450 MHz, 3 mins) o por un método común (60 mins, a 204°C), sobre el contenido de minerales en el tejido medular y corteza de papas. Los minerales presentes en la papa incluyen potasio, fósforo, calcio y magnesio. En el tejido de la corteza que se horneó de forma tradicional el potasio sufrió una disminución del 15 % y el fierro del 12 %; sin embargo, este mismo calentamiento causó un incremento en el tejido medular de potasio en 22 % y de fierro en 23 %. Esto indicó que estos minerales se deslizaran desde la corteza hacia el tejido medular y esto probablemente se debió a que en el calentamiento convencional el daño en el área de la corteza es mucho mayor que en el tejido medular y a que se evapora más agua en la corteza, por lo que se presenta un gradiente de agua hacia la superficie. Se observó también una disminución de cobre en el tejido medular. No hubo efectos importantes en ninguno de los dos tejidos sobre el contenido de manganeso, níquel, zinc, cadmio y plomo. El horneado por microondas sólo presentó efectos ligeros, causó un incremento en el potasio y calcio contenidos en el tejido medular, no se encontraron cambios para el fósforo y el magnesio. En los minerales traza el único cambio importante fue la reducción de cobre del tejido medular. Estos cambios no se pudieron explicar, por lo que se sugiere la necesidad de trabajos adicionales sobre este tema (125,126).

No se pueden dar conclusiones sobre este tema, debido al número tan limitado de artículos que se encontraron.

TABLA 13.

Efectos sobre la retención de minerales de chícharos que se cocinaron de manera convencional y por microondas (43).

Minerales	Crudos (mg/g)	Métodos de cocción	
		Convencional (mg/g)	Microondas (mg/g)
Calcio	3.24	1.72 (46.9)	1.69 (47.8)
Potasio	19.56	10.67 (45.4)	11.27 (42.3)
Sodio	2.44	1.23 (49.6)	1.29 (47.3)
Magnesio	2.30	1.69 (26.5)	1.80 (21.7)
Zinc	0.266	0.166 (37.6)	0.163 (39.7)
Cobre	0.010	0.009 (10.0)	0.010 ( 0.0)
Hierro	0.088	0.086 ( 2.2)	0.087 ( 1.1)
Manganeso	0.019	0.015 (21.0)	0.016 (15.8)

Los valores que están dentro del paréntesis son los porcentajes de pérdida del mineral.

Fuente: Chung et al. (1981).

## 6. VITAMINAS:

### A) Solubles en grasa:

Los efectos de las microondas en la retención de vitaminas en alimentos se han estudiado ampliamente; sin embargo prácticamente no existen reportes sobre las vitaminas solubles en grasas (54).

Las vitaminas A, D, E y K no poseen propiedades o estructuras químicas comunes, pero se reúnen en este grupo porque todas son liposolubles (91).

#### a) Vitamina A:

Esta vitamina sufre una destrucción gradual al estar bajo la acción del calor (91).

En algunas investigaciones se han efectuado determinaciones de vitamina A.

Se reportó que no hubo pérdidas importantes de vitamina A en carne que se cocinó por microondas o por radiaciones infrarrojos, cuando se comparó con los valores de carne que se cocinó de manera convencional (54).

Bookwalter et al. en 1982, pasteurizó con energía de microondas a 2450 y 915 MHz una leche enriquecida con soya y maíz. No se presentaron cambios importantes en el contenido de la vitamina A, que se pudieran asociar con el tratamiento que se empleó (31).

Debido a la escasez de estudios sobre el efecto de la energía de microondas en la vitamina A, no es posible dar opiniones al respecto, queda solamente el hacer hincapié en la gran necesidad que existe de que se efectúen trabajos en esta área.

B) Vitaminas solubles en agua:

El complejo de vitaminas B y la vitamina C son las vitaminas solubles en agua. De los doce compuestos que se han aislado del complejo B, la tiamina, riboflavina y folacina son las fracciones más inestables a la acción del calor (91).

a) Tiamina:

La tiamina es un compuesto que contiene un átomo de azufre, por lo cual se destruye fácilmente con el calor o la oxidación, particularmente en presencia de un álcali (54).

En 1951 Baker y Penton, reportaron que los chicharos congelados que se cocinaron en un rango dieléctrico, retuvieron un 95% de tiamina y los que se cocieron en una cacerola un 97%; estas diferencias no son estadísticamente significativas e indican que la pérdida de tiamina fue mínima en ambos casos (16). Johnson y Baldwin en 1980, publicaron que obtuvieron resultados concordantes a los anteriores, en carne que se usó por microondas y de manera convencional (114).

Khan et al. en 1982, no obtuvieron pérdidas importantes en el contenido de tiamina en pasta italiana, después de que se almacenó en caliente durante 90 mins, se congeló y después de cuatro semanas se recalentó por microondas o de la forma acostumbrada en un horno precalentado a 204°C (121).

Voris y Van Duyne en 1979, compararon seis pares de pedazos de res que se asaron por microondas, con los que se asaron en un horno eléctrico. No encontraron diferencias importantes en la concentración de tiamina que se debieran a la manera de asarse (206). Anteriormente presentaron datos semejantes Jason y Sanders en carne de res, cordero y puerco (54); Noble y Gómez en cordero (163).

Dahl y Matthews en 1980, prepararon milanesas de res por un sistema que se conoce en los Estados Unidos como "cook/chill foodservice system", que consiste de tres pasos: cocción inicial, congelación y almacenamiento y posterior recalentamiento. Se evaluó el contenido de tiamina antes del primer paso y después del segundo y tercero. Las milanesas perdieron aproximadamente el 30 % de tiamina en todo el proceso, el calentamiento por microondas causó un 10 % de pérdida total. Como se muestra en las tablas 14 y 15 los valores para tiamina en las milanesas aumentaron después del recalentamiento por microondas, cuando solamente se consideró la tiamina contenida por gramo de alimento, mientras que cuando se valoraron los datos del porcentaje de retención de tiamina, ésta disminuyó después del recalentamiento por microondas; ésto señala que es muy importante ajustar los valores de la retención de tiamina (y de otros nutrientes) en los alimentos de acuerdo con la pérdida de peso durante el proceso (58). Dahl et al. en 1982, utilizaron un sistema para procesar chicharos y milanesas de res igual al anterior y cotejaron la retención de tiamina en los productos después de que se recalentaron por microondas, conducción y convección. No se presentaron diferencias importantes en el porcentaje de tiamina en los chicharos y en las milanesas que se debieran al método de recalentamiento (60).

En un estudio que desarrollaron Thomas et al. en 1949, la retención de nutrientes en vegetales dependió del tiempo de cocción y de la cantidad de agua que se empleó. En general la pérdida mayor de nutrientes solubles en agua se debió a la disolución de éstos en el agua hirviendo, por lo tanto entre más agua se añadió más nutrientes se perdieron; el efecto del tiempo fue



TABLA 14.

Retención de tiamina por gramo de milanesas preparadas por el sistema que se conoce en Estados Unidos como "cook/chill food service system" (58).

Flujo del producto	A	B	C	Promedio
	g de tiamina/g de milanesas			
Preparación	0.8	0.9	1.0	
	0.8	0.9	1.0	0.9
Antes del calentamiento por microondas	1.0	0.8	1.0	
	1.0	0.8	1.0	0.9
Después del calentamiento por microondas				
20 seg	0.8	0.8	1.0	0.9
	0.8	0.8	0.9	
50 seg	1.0	0.9	1.0	1.0
	1.0	0.9	1.0	
80 seg	1.0	0.9	1.1	1.0
	1.0	0.9	1.1	
110 seg	1.2	1.0	1.3	1.2
	1.2	1.0	1.3	

Los valores no están ajustados a la pérdida de peso que se debe al proceso.

A,B,C son muestras diferentes de milanesas.

Fuente: Dahl y Matthews (1980).

TABLA 15.

Porcentaje de retención de tiamina en milanesas preparadas por el sistema que se conoce en Estados Unidos como "cook/chill foodservice system" (58).

Flujo del producto	A	B	C	Promedio
	% de retención de tiamina			
Preparación	100.0	100.0	100.0	100.0
Antes del calentamiento por microondas	93.6	67.8	77.7	79.7
Después del calentamiento por microondas				
20 seg	73.7	68.7	74.3	72.2
50 seg	82.0	70.0	72.0	75.0
80 seg	79.0	63.6	72.9	71.8
110 seg	76.5	59.7	74.2	70.1

A, B, C son diferentes muestras de milanesas.

Fuente: Dahl y Matthews (1980).

menor que el del agua y al disminuir el tiempo se presentó una mayor conservación de nutrimentos (202).

Apgar et al. en 1959, publicaron que la disminución de tiamina fue menor en los alimentos que se cocinaron por microondas, que en los que se cocinaron por un método acostumbrado (9).

Goldblith et al. en 1968, expusieron una solución de tiamina a la radiación de microondas a 0°C durante 45 mins y a 33°C por 30 mins, los resultados mostraron que las microondas por sí mismas no tienen ningún efecto sobre la destrucción de tiamina (79).

Chung et al. en 1981, observaron que los chícharos que se cocinaron por microondas a 2450 MHz por 6.5 mins, conservaron una mayor cantidad de tiamina que los chícharos que se cocinaron en agua hirviendo durante 7 mins (Ver tabla 16) (43).

Hall y Lin en 1981, investigaron el efecto de dos hornos de microondas (a 800 W durante 9.4 mins y a 1600 W por 5 mins) y dos hornos eléctricos (a 121°C por 30.7 mins y a 204°C por 45.5 mins) sobre el porcentaje de retención de tiamina con pollos. Los pollos que se cocinaron en el horno de microondas tuvieron valores más altos de tiamina que los otros pollos (89).

#### b) Riboflavina y niacina:

La riboflavina y niacina son vitaminas bastante resistentes a los efectos del calor, ácidos y oxidación, pero son inestables en presencia de un álcali o de luz. Ambas son ligeramente solubles en agua, por lo que pueden ocurrir algunas pérdidas porque se disuelvan en el agua de cocción, sin embargo se ha visto que la pérdida de niacina no es común en los diversos procesos de alimentos y en su preparación (54).

TABLA 16.

Efecto del método de cocción sobre el contenido de vitaminas en chícharos (43).

Vitaminas	Crudo	Método de cocción	
		Convencional	Microondas
Tiamina ( $\mu\text{g/g}$ )	2.47	1.52 (38.5)	1.97 (20.2)
Riboflavina ( $\mu\text{g/g}$ )	4.51	1.89 (58.0)	2.67 (40.8)
Acido ascórbico ( $\text{mg/g}$ )	124.70	105.10 (15.7)	110.60 (11.3)

Los valores en el paréntesis corresponden al porcentaje de pérdida.

Fuente: Chung et al. (1981).

Lanier y Sistrunk en 1979, estudiaron la influencia en la concentración de estas vitaminas en papas, que se prepararon por diferentes métodos (horneado común a 190°C durante 75 a 90 mins, por microondas a 2450 MHz por 18 a 35 mins, por ebullición durante 40 a 60 mins, a vapor por 40 a 70 mins y por el proceso de enlatado 35 mins a 116°C). El contenido de riboflavina y niacina fue más grande para las papas que se hornearon por microondas o convencionalmente. Las raíces que se hirvieron tuvieron menos niacina que las que se cocinaron al vapor. El enlatado causó en estas vitaminas una destrucción mayor que los otros procedimientos (Ver tabla 17) (131).

Thomas et al. en 1949, reportaron que el tiempo de cocción y la cantidad de agua que se usó en la preparación de pasteles de puerco y de res, en brécol, calabaza, zanahoria y papas fueron determinantes en la mayor o menor retención de ambas vitaminas (91,202).

Baker y Fenton en 1951, no encontraron diferencias estadísticas en la conservación de riboflavina en chícharos que se cocinaron desde un estado de congelación por microondas o por un método convencional (16).

Ang et al. en 1975, investigaron los efectos de varios métodos de calentamiento en algunas vitaminas en productos frescos o congelados (puré de papas, chícharos y cebollas, asado de res con "gravy" y frijoles con salchichas). La reducción de riboflavina en los cuatro productos en todos los casos fue menor al 10 %. El calentamiento con vapor retuvo menor cantidad de riboflavina que los procesos de calentamiento en seco (5).

Baldwin et al. en 1976, publicaron que el porcentaje de pérdida de riboflavina y niacina en carne de res, puerco y cordero

TABLA 17.

Efecto del método de cocción sobre el contenido de vitaminas en papás (131).

Método de cocción	Riboflavina	Niacina	Acido ascórbico
	$\mu\text{E}/\text{E}$	$\mu\text{E}/\text{E}$	mg/100g
Hornear	5.4	7.8	23.3
Hervir	2.6	5.4	22.0
Vapor	3.0	6.5	22.5
Microondas	3.8	7.4	21.4
Enlatado	3.3	4.7	14.5

Fuente: Lanier y Sistrunk (1979).

que se cocinó por microondas o de forma tradicional, no fue diferente estadísticamente en ambos casos (17). Se efectuó un análisis del contenido de riboflavina y niacina en piernas de cordero y los resultados mostraron variaciones insignificantes entre los dos métodos de cocción (54).

Johnston y Baldwin en 1980, recalentaron a 70°C carne de res fresca y carne almacenada durante dos días a 4°C, en un horno eléctrico precalentado a 162°C o en un horno de microondas. La disminución de riboflavina fue similar en los dos casos y tan poco hubo diferencias entre la carne que se recalentó fresca y la que se almacenó antes de recalentarse (114).

Mc. Mullen en 1979, consideró que la retención de riboflavina en productos selectos de carne de res, puerco y pavo que se recalentaron por microondas o de la forma acostumbrada dentro de sus envolturas, fue similar para ambos procedimientos (146).

Se cocinaron por microondas y por un método convencional músculos de res, obteniendo valores más altos de riboflavina y niacina los tratados con microondas (54).

Korschgen y Baldwin en 1978, indicaron que no se presentaron diferentes concentraciones de niacina entre la carne de res que se asó por un sistema convencional o por microondas, a una temperatura interna de 61°C; no obstante la retención de riboflavina fue estadísticamente más alta en la carne que se rostizó con la energía que producen las microondas (127).

Chung et al. en 1981, evaluaron el efecto de las diversas técnicas de cocción (en un cazo con agua hirviendo y por microondas) en el contenido de riboflavina en chicharos. La pérdida de riboflavina fue menor en el tratamiento por microondas que en el convencional (Ver tabla 16) (43).

c) Folacina:

Se presentan dificultades para obtener datos consistentes sobre el contenido de folacina en los alimentos, debido a la existencia de varias formas de la vitamina (123). Estos derivados de folacina difieren mucho en cuanto a su estabilidad al calor, y esto causa una amplia variación en los datos que se refieren a la pérdida de folacina, durante el cocimiento de los alimentos (91).

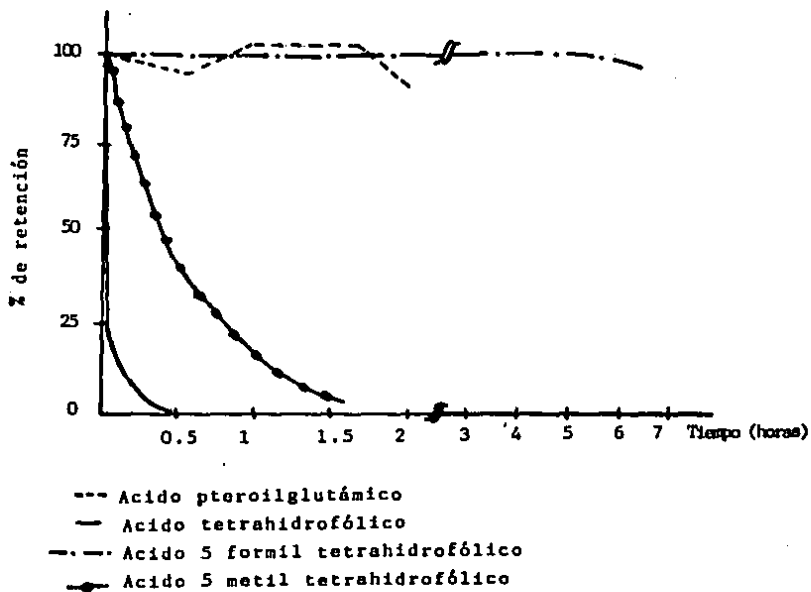
El ácido fólico (pteroilglutámico) no aparece como tal en los alimentos, ni en el cuerpo humano; se le encuentra principalmente en forma de poliglutamatos y de 5 metil tetrahydrofolato; sin embargo éste es el derivado que se usa terapéuticamente y en la suplementación de alimentos (46).

En un estudio que efectuaron Cooper et al. en 1978, se observó la estabilidad térmica de varios derivados de folacina en una solución acuosa a una temperatura de 100°C. El ácido fólico fue muy estable al calor, ya que permaneció inalterable por un período de 120 mins. El derivado más resistente fue el 5 formil tetrahydrofolato, que permaneció sin ningún cambio durante un lapso de 6 hrs. La estabilidad del 5 metil tetrahydrofolato es de particular interés porque es el derivado que se encuentra en una mayor proporción en alimentos y otros materiales biológicos; sin embargo este compuesto se destruyó después de 65 mins, y su vida media a 100°C fue de 21 mins en una solución acuosa a un pH de 7, a temperatura ambiente su vida media fue de 119 hrs. El ácido tetrahydrofólico fue muy inestable, ya que perdió más del 90 % de su actividad después de 9 mins de calentamiento. Estos dos últimos compuestos son susceptibles de sufrir oxidación, por lo que se piensa que este pueda ser el mecanismo de degradación que se presente durante el calentamiento (Ver figura 8).



FIGURA 8.

Estabilidad térmica de los derivados de folacina, sometidos a un calentamiento convencional a 100°C (46).



Fuente: Cooper et al. (1978).

También compararon el efecto de la energía de microondas y del calentamiento convencional sobre la estabilidad de estos cuatro compuestos. Las formas que fueron estables en el calentamiento convencional también lo fueron para el calentamiento por microondas. El 5 metil tetrahidrofolato se degradó más rápido cuando se expuso a la energía de microondas, ya que con sólo 28 mins de calentamiento se deterioró en un 90 % (46).

Se publicó en 1975, que la pérdida de esta vitamina soluble en agua durante su proceso y cocción, puede llegar a ser del 50 al 90 % y aún del 100 %, cuando se usan altas temperaturas y grandes volúmenes de agua (54).

Klein y Van duyné en 1979, determinaron el contenido total de ácido fólico y su grado de retención por medio de análisis microbiológicos (usaron S. fecalis y L. casei) (87) en espinacas congeladas y en chícharos, que se cocinaron por microondas y de la manera tradicional. Los valores obtenidos fueron semejantes para ambos métodos de cocción y se obtuvo una retención del 80 % de ácido fólico (54).

Klein et al. en 1979, cocinaron cuatro vegetales congelados (chícharos, brécol, espinacas y frijoles) por un método acostumbrado y por microondas. Las concentraciones de folacina fueron aproximadamente las mismas para cada vegetal, independientemente del método de cocción. No hubo diferencias importantes en el contenido de folacina en las espinacas o en los chícharos crudos y cocidos. Todos los vegetales retuvieron del 78 al 100 % de la vitamina, con excepción del brécol que sólo retuvo del 51 al 59 % de folacina, esto se debió probablemente a la presencia en este último vegetal de formas termolábiles de la vitamina (Ver tabla 18) (123).

TABLA 18.

Contenido de folacina en cuatro vegetales crudos, que se cocinaron por microondas o convencionalmente (123).

VEGETAL	Microorganismos usados	Alimento 1		Alimento 2		Alimento 3	
		$\mu\text{g}/\text{g}$ bs.	$\mu\text{g}/\text{g}$ bh.	$\mu\text{g}/\text{g}$ bs.	$\mu\text{g}/\text{g}$ bh.	$\mu\text{g}/\text{g}$ bs.	$\mu\text{g}/\text{g}$ bh.
Espinacas	<u>S. fecalis</u>	1.37	14.1	1.75	14.7	1.40	12.5
	<u>L. casei</u>	1.66	17.0	1.78	16.1	1.72	14.9
Frijoles verdes	<u>L. casei</u>	0.46	3.5	0.60	4.0	0.52	3.6
	<u>L. casei</u>	1.69	15.6	1.28	9.7	0.98	8.7
Chícharos	<u>S. fecalis</u>	0.57	2.5	0.60	2.3	0.57	2.3
	<u>L. casei</u>	1.11	5.0	0.99	3.8	1.02	4.1

Alimento 1 = Alimento congelado y crudo.

Alimento 2 = Alimento que se cocinó con microondas.

Alimento 3 = Alimento que se cocinó convencionalmente.

bs = peso en base seca.

bh = peso en base húmeda.

Fuente: Klein et al. (1979).

Klein et al. en 1981, investigaron el contenido total de folacina en espinacas frescas, después de cocinarlas por microondas (a 2450 MHz, 585 W, 6.5 mins) y en un horno de gas (7 mins a 100°C). La retención de folacina fue ligeramente mayor en las espinacas que se trataron con la energía de microondas (124).

d) Acido ascórbico:

Es un compuesto simple de seis carbonos, que está relacionado con los monosacáridos; se presenta casi exclusivamente en los alimentos de origen vegetal, en donde lo encontramos en dos formas: reducida (que suele llamarse ácido ascórbico) y oxidada (ácido hidrosascórbico) (Ver figura 9); ambas formas tienen actividad fisiológica (13).

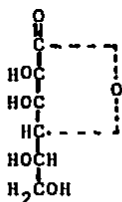
De todas las vitaminas el ácido ascórbico es la más inestable al calor. Aunque muchos alimentos que son muy buenas fuentes de esta vitamina se consumen crudos, existe interés en seguir el rastro del ácido ascórbico en alimentos que se sometieron a la acción del calor, con el fin de conocer el efecto que causa la cocción de estos alimentos sobre la vitamina (54,91).

Ang et al. en 1975, calentaron puré de papa fresco o congelado en un horno por convección, microondas, infrarrojo o con vapor. El puré congelado y recalentado por cualquiera de los métodos contuvo menos ácido ascórbico, que el puré que se preparó en fresco y también notó que durante el lento descongelamiento del producto se presentó cierta pérdida de la vitamina. Los recalentamientos por microondas e infrarrojo fueron los menos favorables para la retención del ácido ascórbico en el puré recién hecho (fresco) (5).

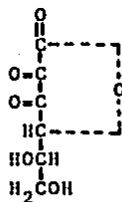
Lanier y Sistrunk en 1979, estudiaron la influencia del método de cocción horneado común (de 75 a 90 mins a 190°C), micro-

FIGURA 9.

Fórmula estructural del ácido ascórbico (13).



Acido L-ascórbico.  
(forma reducida)



Acido L-dehidroascórbico.  
(forma oxidada)

Fuente: Agustín et al. 1981.

ondas (18 - 35 mins a 2450 MHz), ebullición (40 a 60 mins), vapor (40 - 70 mins) y enlatado (35 mins a 116°C) sobre la vitamina C en papas dulces. Los valores del ácido ascórbico fueron semejantes para las papas que se hornearon en un horno de gas y las que se cocinaron con vapor y ebullición y más altas que las papas que se cocinaron por microondas; el enlatado fue por mucho el procedimiento más destructivo (Ver tabla 17) (131).

En 1949, se compararon las técnicas de cocción con presión, vapor y por microondas en brécol, calabaza y zanahoria. La cocción con presión presentó una retención mayor del ácido ascórbico (97).

En contraste a lo anterior, Thomas et al. en 1949 (202), Stevens y Fenton en 1951 (198), Causey y Fenton en 1951 (40) y Kylen et al. en 1961 (129) reportaron que no se presentaron diferencias en el contenido de ácido ascórbico que se debieran a los diferentes procesos que se siguieron para la cocción de diversos vegetales.

Se publicó que en los vegetales que se cocinaron con microondas, la cantidad de ácido ascórbico disuelto en el líquido de cocción fue menor, que en el líquido de cocción de los vegetales que se cocinaron de manera tradicional; sin embargo esta diferencia no fue estadísticamente significativa (54).

Gordon y Noble en 1959, calcularon el porcentaje de ácido ascórbico disuelto en el líquido de cocción. Los valores que encontraron indicaron una disolución apreciable del ácido ascórbico desde los alimentos. Al sumar estos valores a los de la concentración de la vitamina que se retuvo en las muestras, los resultados no fueron estadísticamente diferentes para los diversos métodos de cocción (83).

Klein et al. en 1981, analizaron la concentración de ácido ascórbico antes y después de que se cocinaron por microondas (6.5 mins a 2450 MHz y 585 W) y por una técnica usual (hornilla de gas 7 mins a 100°C). La cantidad de ácido ascórbico disminuyó bastante después de que las espinacas se cocinaron por ambas formas. No hubo diferencias estadísticas importantes entre ambos procesos (124).

Dahl-Sawyer et al., determinaron el ácido ascórbico en puré de papas, en todos los pasos de un sistema que se conoce en los Estados Unidos como "cook/chill foodservice system". Se observó que el manejo de los vegetales, su almacenamiento, el tiempo y la temperatura afectaron a los valores iniciales del ácido ascórbico. Los recalentamientos por conducción, convección y microondas no causaron pérdidas diferentes de la vitamina y éstas fueron menores al 10 % de la concentración que tenía el puré antes del recalentamiento (60).

Chung et al. en 1981, concluyó que no hubo diferencia en la retención de ácido ascórbico entre los chícharos que se cocinaron por un sistema tradicional y los que se cocinaron por microondas (Ver tabla 16) (43).

Dietrich et al. en 1970, sometieron coles de bruselas a un tratamiento de blanqueo convencional y a otro con energía de microondas en combinación con vapor. Las coles que se blanquearon por la combinación de las microondas con el vapor presentaron una retención de ácido ascórbico tan buena como las muestras que se blanquearon por un procedimiento común (64).

Quenzer y Burns en 1981, blanquearon espinacas con vapor, agua y microondas. El blanqueo por microondas resultó superior en cuanto a la conservación del ácido ascórbico, al blanqueo con

vapor y éste a su vez al blanqueo con agua. La disminución de la vitamina C en estos dos últimos métodos, se debió principalmente a la disolución de la vitamina en el agua que se empleó (Ver tabla 19) (179). Este artículo corroboró los resultados editados anteriormente como son los de Proctor y Goldblith (1948) quienes efectuaron sus investigaciones en zahanoria, espinaca, chícharo, frijol y brécol (132) y Eheart (1967) en brécol (70).

Se ha encontrado que la exposición de naranja en contenedores de vidrio a la energía de microondas por un tiempo de 140 segs, es suficiente para que se alcance la temperatura necesaria para esterilizar y esto permite una mayor retención de ácido ascórbico que la que se logra con la esterilización convencional (54).

Se valoró la pérdida de ácido ascórbico en frutas y vegetales después de que se cocinaron por microondas y por sistemas tradicionales. En el 75% de los casos, la disminución de la vitamina fue mucho menor en las muestras que se sometieron a la energía producida por las microondas, que en las demás muestras (Ver tabla 20) (54).

Campbell en 1958, estimó la reducción del ácido ascórbico en cuatro vegetales (calabaza fresca, chícharos congelados y brécol fresco y congelado) crudos y después de cocinarse por microondas y de la forma acostumbrada. La retención del ácido ascórbico fue más grande en los vegetales que se trataron con la energía de microondas, que con las otras técnicas de calentamiento. Además otra ventaja que se observó en el calentamiento por microondas principalmente en lo que se refiere al servicio de alimentos, fue que se pueden preparar pequeñas cantidades de alimentos en el momento en que se necesiten, mientras que por las técnicas



TÁBLA 19.

Efecto del tratamiento de blanqueo sobre el contenido de vitaminas en espinacas (179).

Tratamiento	Acido ascórbico. ( mg/100g de peso seco)
Blanqueo con vapor	269.33
Blanqueo con agua	127.20
Blanqueo con microondas	309.98

Fuente: Quenzer y Burns (1981).

TABLA 20.

Reducción promedio del contenido de ácido ascórbico de frutas y vegetales después de que se cocinaron por microondas y por un método convencional (10).

Alimentos	Forma	(mg/100 g)			
		Microondas	Hervir	Hornear	Otro método
<b>Frutas</b>					
Manzanas	Fresco	16.6	—	6.7	—
Arándano	Fresco	15.2	15.7	—	17.2
Toronja	Fresco	43.4	—	38.0	—
<b>Vegetales</b>					
Espárragos	Fresco	20.0	17.5	—	—
	Congelado	26.0	22.4	—	—
Brécol	Fresco	116.6	73.2	—	77.8
	Congelado	85.6	72.9	—	69.5
Coles de	Fresco	86.5	73.5	—	—
Bruselas	Congelado	59.6	55.8	—	56.0
Coliflor	Fresca	84.6	48.2	—	—
	Congelada	68.3	48.0	—	—
Espinaca	Fresca	23.9	15.0	—	—
	Congelada	16.1	8.9	—	—
Calabaza	Fresca	43.2	24.5	—	20.0
	Congelada	7.0	—	66.3	—
Frijoles	Fresco	5.7	4.9	—	—
Chirivía	Fresco	14.1	6.9	—	—
Pimiento	Fresco	109.4	—	98.0	—
Jitomate	Fresco	22.3	—	23.3	—
Nabo	Fresco	25.9	14.2	—	16.6

Fuente: Armbruster (1975).

tradicionales es necesario preparar el alimento con anticipación y mantenerlo en mesas de vapor o refrigerarlo y recalentarlo cuando se vaya a usar; esto trae como consecuencia una mayor destrucción de las vitaminas termolábiles. Se observó que los chícharos y brécol que estuvieron en una mesa de vapor por una hora a 85°C, redujeron sus valores de ácido ascórbico a cifras mucho menores de las que tenían antes de cocinarse. Gordon y Noble en 1959, (83) compararon la retención de ácido ascórbico en vegetales que se cocinaron convencionalmente y por microondas; sus resultados concuerdan con los anteriores.

Mabesa y Baldwin en 1979, cocinaron chícharos con y sin añadirles agua en un horno de microondas casero a 550 W, en un horno de microondas que se usa en instituciones a 1150 W y por un método usual. Los chícharos que se cocinaron por microondas en ambos hornos retuvieron más ácido ascórbico que los que se cocinaron en el horno común; los chícharos que se cocinaron por microondas sin agua presentaron una menor pérdida de ácido ascórbico que los que se cocinaron con agua (137, 138).

Kylen et al., en 1961, encontraron que la cantidad de agua que se añade al cocinar y el tiempo de cocción juegan un papel más importante en la retención del ácido ascórbico que el método de cocción; así la disminución del tiempo de cocción y del agua que se agrega permiten una menor pérdida de la vitamina, sin embargo el efecto del tiempo no es tan marcado como el del agua; esto se debe a que la cantidad limitada de agua que se usa disminuye la disolución de la vitamina en ella (129).

Como el ácido ascórbico es una vitamina altamente termolábil y soluble en agua, se ha propuesto usarla como un índice nutricional para estimar la pérdida de los nutrientes en los vegeta-

les según los diferentes procesos a los que se les somete; además de que el análisis cuantitativo de dicha vitamina es bastante fácil de hacer (124).

Se puede observar que la cantidad de agua que se emplea para la cocción de los alimentos, así como la temperatura y el tiempo del proceso, influyen en un grado mayor en la retención de las vitaminas hidrosolubles que el método de cocción.

**VI. EFECTO DE LAS MICROONDAS EN LAS CUALIDADES  
SENSORIALES DE LOS ALIMENTOS.**

## INTRODUCCION:

Las reacciones de oscurecimiento son muy complejas y en muchas ocasiones ocurren cuando los alimentos se procesan. En algunos casos el sabor, aroma y color dorado son altamente deseables y se asocian en nuestras mentes a un producto delicioso; sin embargo en otros casos no se desea que durante el proceso se presente un oscurecimiento, como en el caso del proceso por el cual se concentra el jugo de naranja (11).

Se han reconocido tres tipos de reacciones de oscurecimiento:

1) Las reacciones de Maillard, que son reacciones de los azúcares reductores y compuestos amino, tales como los aminoácidos, péptidos y proteínas. Estas reacciones se dan independientemente de la presencia de oxígeno.

2) Caramelización, son los cambios que ocurren en los compuestos polihidroxycarbonilos tales como los azúcares, cuando ellos se calientan a altas temperaturas y son también independientes de la presencia de oxígeno. No son reacciones enzimáticas.

3) Los cambios oxidativos que sufren los polifenoles para formar policarbonilos. Estas reacciones pueden ser parcial o totalmente enzimáticas (150).

En el calentamiento convencional el calor se transfiere gradualmente desde la superficie hacia el interior del alimento por conducción, esto permite que se forme un gradiente de temperatura dentro del alimento. La porción interna del alimento no alcanza una temperatura superior a los 100°C; sin embargo la superficie del alimento se deshidrata (porque el agua se evapora),

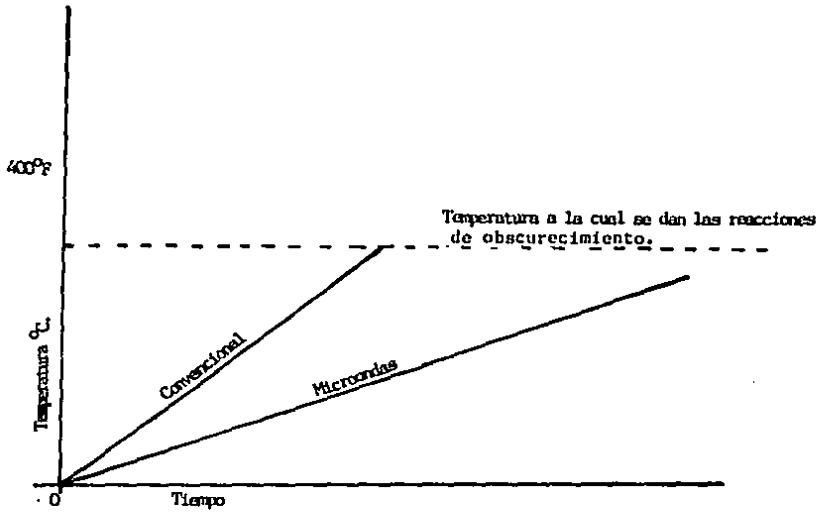
llega a una temperatura mayor de 100°C y ocurre la formación del dorado y de una corteza (205).

El calentamiento por microondas al calentar primero el interior del alimento en vez de la superficie, no permite que la temperatura en la superficie suba tan rápido como en el calentamiento convencional y además, como este calentamiento es muy veloz no se logra llegar a la temperatura y tiempo necesarios, para que se den las reacciones de obscurecimiento (Ver figura 10) (19,158,205).

El problema de la falta de empardecimiento en el calentamiento por microondas, se ha tratado de resolver con el uso de parrillas doradoras, hornos que combinen el calentamiento por microondas con un calentamiento convencional, etc. Así Drew y Rhee en 1979, compararon las características sensoriales de pasteles que se cocinaron de la manera tradicional, con los que se cocinaron con microondas usando algún sistema para lograr el dorado. No se presentaron diferencias para el sabor, apariencia y aceptabilidad de los pasteles que se cocinaron por las diferentes técnicas (67,160).

FIGURA 10.

Alza de temperatura en la superficie de un alimento, en el calentamiento convencional y por microondas (158).



Fuente: Moore (1979).



## 1. APARIENCIA:

Al calificar la apariencia de un alimento, lo que las personas juzgan en términos generales son:

1. Propiedades ópticas: color, brillo, translúcido, opaco, uniformidad y sabor visual.

2. Forma física: forma y tamaño, textura de la superficie y consistencia visual.

3. Modo de presentación: descripción del alimento, fenómenos de contraste, etc (28).

Cramer en 1983, preparó un "spaghetti" en un horno de microondas que se usa en instituciones y en un horno que cocina por convección. El "spaghetti" que se cocinó en el horno de microondas presentó una mayor separación de la grasa y más amontonamiento, que el que se cocinó en el horno por convección (53).

Hill y Reagan en 1982, encontraron que la apariencia de los pasteles de mantequilla que se hornearon de la manera acostumbrada fue superior a la de los que se hornearon con microondas (99).

Cramer en 1982, cocinó huevos revueltos y pasteles de carne en un horno de microondas que se usa en instituciones y en un horno de convección. Las calificaciones para la apariencia de los huevos que se cocinaron por microondas fueron más altas, pero para los pasteles de carne más bajas (Ver tabla 21) (52).

Quenzer y Burns en 1981, reportaron que los miembros de un jurado que evaluó las características sensoriales de espinacas que se blanquearon con agua (2 mins a 100°C), vapor (2 mins) y microondas (95 segs a 650 W), no fueron capaces de distinguir la diferencia en apariencia entre las espinacas que sólo se cocinaron (control) y las que se blanquearon por los diferentes métodos (Ver tabla 22) (179).

TÁBLA 21.

Calificaciones para las características sensoriales de huevos revueltos y pasteles de carne que se cocinaron en un horno de microondas y en un horno que calienta por convección (52).

Característica	Microondas	Convección
<b>HUEVOS REVUELTOS</b>		
Color	8.1	5.8
Textura	7.3	5.9
Sabor	7.4	6.4
Aceptabilidad general	7.5	6.0
<b>PASTELES DE CARNE</b>		
Apariencia	6.3	7.0
Suavidad	6.1	6.7
Jugosidad	6.6	6.7
Sabor	6.5	7.2
Aceptabilidad general	6.2	6.9

Las calificaciones se dieron por diez jueces, que usaron una escala de nueve puntos.

Fuente: Gremer (1982).

TABLA 22.

Efectos de los diferentes tratamientos de blanqueo de espina-  
cacas sobre diversos atributos sensoriales (179).

Tratamiento	Color	Olor	Saber	Textura	Apariencia
Blanqueo con vapor	6.90	7.13	7.18	7.50	6.93
Blanqueo con agua	7.53	6.20	6.05	6.18	6.70
Blanqueo con microondas	7.10	6.78	6.68	7.43	6.75
Control	6.55	7.20	6.55	6.85	6.90

Se calificó con una escala de nueve puntos.

Fuente: Quenzer y Burns (1981).

Martin y Tsien en 1981, hornearon pasteles en un horno de microondas (2450 MHz, 6050 W por 5 mins) y en uno convencional (25 mins a 190.5°C). Los pasteles que se hornearon con la energía de microondas presentaron en la región central una estructura celular más abierta y además un pico máximo en el contorno de la superficie de dicha zona. La causa de esto es que la zona del centro tarda más tiempo en calentarse que las orillas y se forman corrientes de convección, de modo que la masa tibia se mueve hacia donde se encuentra la masa más fría, la cual sustituye a la tibia, y el volumen se expande debido a la influencia de los gases de fermentación (142).

Harrison en 1980, rostizó carne con la energía de microondas a tres diferentes niveles de poder. Los jueces dieron en cuanto a la apariencia de la carne calificaciones superiores a la carne que se rostizó a un nivel de poder bajo (195 W), intermedios para la carne que se rostizó a niveles medios (325 W) y bajas para la que se rostizó a un nivel de poder alto (650 W) (92).

Mc Neil y Penfield en 1983, no observaron ninguna diferencia en la apariencia de la carne que se rostizó en un horno de microondas, de convección y en uno convencional (147).

## 2. COLOR:

El color de los alimentos es uno de los tres atributos principales de calidad sensorial, cuando el color es poco atractivo el consumidor emite generalmente un juicio incorrecto sobre los otros dos atributos (sabor y textura) (28).

Brittin y Trevino en 1980, realizaron un estudio en el cual diez jueces entrenados y ciento veinte consumidores calificaron los atributos sensoriales de papas que se hornearon en un horno de microondas y en uno convencional. Las papas que se hornearon convencionalmente tuvieron calificaciones para el color más altas que las que se hornearon por microondas (34).

Quenzer en 1980, uso la energía de microondas para someter espinacas al proceso de blanqueo. Los colores de las espinacas que se blanquearon por microondas, agua y vapor no fueron diferentes estadísticamente (178).

Cremer en 1982, preparó huevos revueltos y pasteles de carne en un horno de microondas que se usa en instituciones y en un horno que calienta por convección. En el caso de los huevos, los que se cocinaron por microondas tuvieron calificaciones más altas, que los que se cocinaron de manera convencional, esto se debió a que el calentamiento convencional es muy prolongado y se presentaron efectos adversos como fue el desarrollo de un empardecimiento de los huevos. En el caso de los pasteles de carne la calificación más alta fue para los pasteles que se cocinaron por convección, ya que en este caso si era deseable el empardecimiento de la misma (Ver tabla 21) (52).

Cremer y Chipley en 1980, evaluaron la calidad sensorial de huevos que se prepararon por un sistema en el que se utilizó la energía de microondas. Las calificaciones para el color de los

huevos fueron muy altas (49).

Lanier y Sistrunk en 1979, observaron el efecto del método de calentamiento sobre los atributos sensoriales de papas dulces que se cocinaron en un horno convencional (75 - 90 mins a 190°C), en un horno de microondas (18 - 35 mins a 2450 MHz), con vapor (40 - 70 mins a 99°C), con agua hirviendo (40 - 60 mins a 99°C) y por el proceso de enlatado (35 mins a 116°C). En general las papas que se hornearon por microondas o convencionalmente obtuvieron las calificaciones más altas para el color, las papas que se hirvieron tuvieron el color más oscuro y las papas que se enlataron presentaron el color más opaco (131).

Quenzer y Burns en 1981, investigaron el efecto sobre las cualidades sensoriales de blanquear espinacas con vapor (2 mins), agua (2 mins a 100°C) y microondas (95 segs a 650 W). La intensidad de color se midió con un medidor de diferencia de color de Gardner; siendo más intenso el producto que se blanqueó por microondas, después el que se blanqueó con vapor y las espinacas que sirvieron de control fueron las más claras. En cuanto a la evaluación sensorial los jueces prefirieron primero las que se blanquearon con agua, después las que se blanquearon con microondas, posteriormente las que se trataron con vapor y finalmente las de control, ya que se vio que conforme la muestra se volvía más clara, la preferencia de los jueces disminuía (Ver tabla 22) (179).

Mabesa en 1978, reportó que los chicharos que se cocinaron en un horno de microondas doméstico (550 W) tuvieron mejor color que los que se cocinaron en un horno de microondas que se usa en instituciones (1150 W) (136).

Riffero y Holmes en 1983, cocinaron por ebullición (25

min) y por microondas (1 min a 2450 MHz). Las porciones que se trataron con microondas tuvieron en su interior un color más rojo y el color externo fue más claro y amarillo que las que se hirvieron (185).

Voris y Van duyne en 1979, asaron carne en un horno de microondas a niveles de poder bajos y en un rostizador eléctrico (a 68.3°C). La carne que se asó en el horno de microondas presentó un color externo más claro y este color gusto menos a los jueces que la que se asó en forma tradicional. En cuanto al color interno las calificaciones que dieron los jueces no fueron diferentes estadísticamente (206).

Hawrysh et al. en 1979, estudiaron el efecto del calentamiento eléctrico (a 163°C) y del calentamiento con energía de microondas intermitente (398 W y 2450 MHz) en carne de res. La evaluación subjetiva indicó que el color interno de la carne fue semejante en ambos casos, pero los jueces dieron calificaciones más altas para la uniformidad del color interno y para el color externo de la carne que se cocinó convencionalmente (93).

En Francia en 1978, se decidió instalar un equipo que combina el calentamiento por microondas con el secado al vacío para producir polvo de naranja, debido a que por este sistema se retiene el color típico de la naranja (12).

Moore et al. en 1980, procesaron filetes de res por calor húmedo o seco en un horno de microondas y en un horno convencional. Los filetes que se cocinaron convencionalmente por calor seco fueron los que presentaron un color más uniforme (159).

Se puede observar que las calificaciones para el color fueron más bajas para el calentamiento por microondas en los alimentos en donde se desea que se presente el color dorado. También se encontró que el color interno de la carne y el de las verdu-

ras que se cocinan por microondas tiende a ser más fuerte, lo que indica que se causa un daño menor a los pigmentos.



### 3. SABOR:

El sabor es una combinación de las sensaciones del gusto, olfato, sensaciones en la boca y sabores residuales.

#### A) Gusto:

Es el sentido por el cual se detectan algunas propiedades de las sustancias a través de la disolución de compuestos solubles en la saliva o en los jugos de los alimentos, y el contacto de estos compuestos con las papilas gustativas. La solución se filtra dentro de las papilas y el compuesto estimula a las terminaciones nerviosas, de modo que se transmite un impulso hacia el cerebro y se reconoce el sabor; posteriormente vuelve a llegar saliva a las papilas y éstas se lavan de la solución anterior.

Hay cuatro sensaciones o sabores básicos que se pueden detectar: dulce, salado, ácido y amargo (150).

#### B) Olfato:

Es el sentido por el cual ciertas propiedades de las sustancias se perciben a través de las células olfatorias. Para poder detectar un aroma es necesario que el compuesto vaporice y pase a la cavidad nasal, en donde al estar en contacto con las células olfatorias se transmite un impulso nervioso al cerebro y se recuerda el olor (150).

#### C) Sensaciones en la boca:

Son sensaciones táctiles que se perciben en la boca o nariz y pueden ser térmicas o químicas. Estas sensaciones se dan porque algunos compuestos de las sustancias estimulan al nervio

trigémico (que tiene terminales en la cara, lengua y dientes) y se tiene una sensación general; por ejemplo el amoniaco da una sensación picante (150).

D) Sabores residuales:

Son sensaciones remanentes de aroma, gusto y tacto que permanecen después de que el alimento se deglute (150).

Snider en 1980, en un estudio para determinar el papel que tiene la creatinina en la intensidad del sabor, encontró que la carne que se cocinó en un horno de microondas institucional presentó un sabor más intenso que la que se cocinó en uno convencional; sin embargo el sabor de la carne que se cocinó en un horno de microondas de casa fue menos intenso que el de la carne que se preparó de la forma acostumbrada (196).

Hill y Reagan en 1982, reportaron que aunque los pasteles que se hornearon en un horno común resultaron superiores en sabor y sensaciones en la boca a los que se hornearon por microondas, estos últimos se pueden considerar satisfactorios (99).

Voris y Van Duyne en 1979, declararon que la carne que se rostizó en un horno de microondas a niveles de poder bajos tuvo calificaciones inferiores en sabor y aroma a la que se rostizó en un horno eléctrico a una temperatura interna de  $68.3^{\circ}\text{C}$  (206).

Bodrero et al. en 1980, cocinaron carne en un horno de microondas a 2450 MHz y en uno eléctrico a  $177^{\circ}\text{C}$ . Un equipo de jueces no entrenados indicó que la carne que se cocinó en el horno eléctrico fue más sabrosa que la carne que se cocinó por microondas (29).

Cremer en 1982, preparó huevos revueltos y pasteles de car-

ne en un horno de microondas institucional y en uno que calienta por convección. La evaluación resultó superior para los huevos que se cocinaron por microondas, pero en el caso de los pasteles fueron mejores los que se cocinaron en el horno por convección (Ver tabla 21). Esto probablemente se debió a que en el horno de microondas no se dan las reacciones de empardecimiento (52).

Gremer y Chipley en 1980, examinaron la calidad sensorial de huevos que se prepararon en un sistema que usa el calentamiento por microondas obteniendo un sabor satisfactorio (49).

Brittin y Trevino en 1980, publicaron que según las calificaciones que dieron jueces expertos, las papas que se hornearon por microondas tuvieron un mejor sabor que las que se hornearon de la forma acostumbrada; sin embargo los consumidores no encontraron diferencias entre ambos productos (34).

Baldwin et al. en 1979, no observaron diferencias importantes en el sabor de la carne que se cocinó por microondas a diferentes niveles de poder (500 y 525 W) o de la manera tradicional (18).

Johnston y Baldwin en 1980 recalentaron carne por microondas (2450 MHz y 525 W) y por un método convencional. El aroma de la carne que se recalentó por microondas fue menos intenso, pero en el sabor no hubo diferencias para los dos tipos de cocción (114).

Drew et al. en 1980, cotejaron carne descongelada y congelada que se preparó por microondas o por un método común. La carne congelada que se calentó por microondas presentó calificaciones para el sabor inferiores a la que se calentó por la otra técnica; pero la carne que se cocinó descongelada no mostró ninguna diferencia debida al método de calentamiento (68).

Riffero y Holmes en 1983, cocinaron carne por microondas

(1 min a 2450 MHz) y por ebullición (25 mins). Ni la jugosidad ni el sabor de las muestras se influenciaron por el tratamiento que se empleó (185).

Mc Neil y Penfield en 1983, rostizaron pavo en un horno de microondas y en un horno por convección y lo guardaron en refrigeración toda la noche. Jueces experimentados no encontraron diferencias en jugosidad y sabor entre ambos procedimientos (147).

Quenzer y Burns en 1981, estudiaron los efectos de blanquear espinacas con agua (2 mins a 100°C), vapor (2 mins) y microondas (95 segs a 650 W). Las muestras que se blanquearon con vapor obtuvieron las calificaciones más altas para el sabor, les siguió las que se blanquearon por microondas y por último las que se blanquearon con agua (Ver tabla 22) (179).

Mabesa en 1978, investigó los efectos de cocinar chicharos y zanahorias congeladas en un horno de microondas casero (550 W) y en uno institucional (1150 W), con y sin agua. Hubo una tendencia ligera hacia calificaciones más altas para los chicharos que se cocinaron con y sin agua en el horno doméstico. Las zanahorias resultaron menos afectadas por el método de cocción; las que se cocinaron con agua, independientemente del tipo de horno que se empleó, obtuvieron un sabor menos agradable que las que se cocinaron sin agua (136).

Hawrysh et al. en 1979, compararon los efectos en carne del cocimiento por microondas con aplicación de energía intermitente (a 398 W y 2450 MHz) y del calentamiento eléctrico (a 163°C). Una evaluación subjetiva indicó que la carne en ambos casos fue similar en sabor y jugosidad (93).

Harrison en 1980, encontró que la carne que se recalentó por microondas a un nivel de poder bajo era más jugosa que la

que se recalentó a un nivel de poder alto (92).

Cremer y Chipley en 1980, obtuvieron datos que fueron generalmente positivos sobre la calidad sensorial (jugosidad y sabor) de la carne que se cocinó en un sistema de preparación rápido en el que se utilizó la energía de microondas (50).

Lanier y Sistrunk en 1979, prepararon papas dulces por ebullición (40 - 60 mins a 99°C), horneado eléctrico (75 - 90 mins a 190°C), microondas (18 - 35 mins a 2450 MHz), con vapor (40 - 70 mins a 99°C) y enlatado (35 mins a 116°C). En general el horneado convencional y por microondas produjeron un mejor sabor, mientras que las que se hirvieron o enlataron fueron las que menos gustaron (Ver tabla 23) (131).

En un estudio que realizaron Klein et al. en 1981, cinco jueces evaluaron el sabor de espinacas que se cocinaron por microondas (6.5mins a 2450 MHz y 585 W) o en una estufa de gas (7 mins a 100°C). Estos jueces dieron calificaciones ligeramente más altas para las espinacas que se cocinaron por microondas (124).

En Francia en 1978, se adoptó un sistema para producir pulvo de naranja en el cual se combina el calentamiento con microondas con el secado al vacío. La rapidez del proceso (de 20 a 60 mins) así como el uso de temperaturas bajas (40°C) aseguran una retención excelente del sabor y aroma de la naranja (12).

Se puede observar que en general gusta más la carne que se cocina de manera convencional, a la que se cocina por microondas. También se puede notar que cuando se cocina con un nivel de poder bajo la carne queda más jugosa.

TABLA 23.

Efectos de diferentes métodos de cocción en el aroma y sabor de papas dulces (131).

Método de cocción	A R O M A	S A B O R
Hornear	7.4	8.0
Por ebullición	6.7	6.6
Con vapor	6.5	6.5
Microondas	7.2	7.5
Enlatado	5.4	4.2

La escala que se usó es:

9 = Gusta mucho

5 = Ni gusta ni disgusta

1 = Disgusta mucho

Fuente: Lanier y Sistrunk (1979).

#### 4. TEXTURA:

Es la manifestación sensorial de la estructura o arreglo interno de los alimentos, también se le conoce como cuerpo o consistencia. La textura se percibe en los receptores nerviosos de la piel llamados táctiles.

Dentro de la textura se dan tres tipos de características:

- Mecánicas: se relacionan con las reacciones que presenta el alimento como son: dureza, viscosidad, correosidad, elasticidad, gomosidad, adhesividad y fracturabilidad.

- Geométricas: se relacionan con el arreglo de los constituyentes físicos de los alimentos y en este grupo se tienen: tamaño, forma, presencia de fibras, presencia de grumos o de partículas duras.

- Otras: como pueden ser contenido de grasa y de humedad, etc (28).

Hawrysh et al. en 1979, investigó el efecto del calentamiento por microondas con aplicación de energía intermitente y del calentamiento tradicional sobre las cualidades sensoriales de la carne. La evaluación subjetiva indicó en general, que la suavidad de la carne fue similar para ambos métodos. Los jueces dieron calificaciones ligeramente más altas para la textura de la carne que se cocinó en el horno eléctrico. Las medidas objetivas de estos atributos concordaron con los resultados que dio la evaluación sensorial (93).

Hill y Reagan en 1982, reportaron que aunque los pasteles que se hornearon en un horno común fueron superiores en textura y suavidad, los que se hornearon por microondas se consideraron satisfactorios (99).

Lanier y Sistrunk en 1979, procesaron papas en un horno tradicional (75 - 90 mins a 190°C), en uno de microondas (18 - 35 mins a 2450 MHz), con vapor (40 - 70 mins a 99°C), por ebullición (40 - 60 mins a 99°C) y por enlatado (35 mins a 116°C). Se notó que las papas que se procesaron por microondas o por enlatado tuvieron los valores más bajos en cuanto a suavidad; esto probablemente se debió a que por estos procesos la hidrólisis de almidón que ocurre es menor, ya que el calentamiento es muy rápido y la enzima se inactiva muy pronto (131).

Cremer en 1983, preparó "spaghetti" en un horno de microondas y en uno convencional. El "spaghetti" que se cocinó por microondas presentó una firmeza mayor, mayor separación de grasa y por lo tanto una textura más grasosa que el "spaghetti" que se horneó de la forma típica (53).

Hsieh et al. en 1980, estudiaron los cambios en la estructura interna del músculo de res en estado de pre-rigor y de post-rigor que son causados por el calentamiento por microondas (1.5 mins a 2450 MHz) y de varios tipos de calentamiento convencional (8 mins en agua hirviendo y en un rostizador eléctrico a 149°C durante 12 mins). Todos los procesos de calentamiento desarrollaron en el músculo en estado de pre-rigor bandas de supercontracción que alternan con áreas que muestran fragmentación del tejido y desgarre; el calentamiento por microondas produjo una supercontracción menor y menos densa en los nodos, con menos desgarre y fragmentación; además estas muestras presentaron patrones de áreas poco contraídas con áreas densamente contraídas más uniformes que en el músculo que se calentó convencionalmente. El músculo que se cocinó en estado de post-rigor presentó independientemente del método de cocción una coagulación y encogimiento de la proteína miofibrilar, pero no hubo supercontracción



de los nodos (107).

Chambers IV et al. en 1982, concluyeron que los efectos sobre las características histológicas de carne de res y puerco que se cocinó por calor húmedo o seco en un horno de microondas y en uno convencional no fueron diferentes; y además que no deben usarse exclusivamente las características histológicas del músculo para estudiar las relaciones entre la estructura de éste y su suavidad sensorial (41).

Investigaciones recientes han mostrado que la carne que se cocina por microondas recibe generalmente calificaciones más bajas en cuanto a su calidad sensorial, que la carne que se cocina por una técnica tradicional. Los cortes poco suaves de carne en el calentamiento por microondas no se llegan a suavizar porque para que el tejido conectivo se suavice se necesita de un calentamiento lento y prolongado en presencia de humedad. También se ha notado que la carne que se cocina en un horno de microondas a niveles altos de poder resulta más correosa que la que se cocina a niveles de poder bajos (48,92,109).

Berry y Leddy en 1984, reportaron que los pasteles de carne que se cocinaron por microondas tuvieron las calificaciones sensoriales más bajas al compararlos con otros métodos de cocción (25).

Voris y Van Duyne en 1979, encontraron que los valores de corte, así como la suavidad de la carne no fueron diferentes entre las muestras que se cocinaron en un horno de microondas y en uno eléctrico (206).

Grener en 1982, publicó que los huevos revueltos que se prepararon en un horno de microondas presentaron una mejor textura que los que se hornearon de manera convencional; mientras que

los pasteles de carne que se cocinaron en el horno de convección fueron más suaves que los que se cocinaron por microondas (Ver tabla 21) (52).

Quenzer y Burns en 1981, establecieron que según las calificaciones para la textura que dieron los jueces, las espinacas que se blanquearon con vapor presentaron una textura mejor a las que se blanquearon con microondas y éstas a su vez fueron superiores a las espinacas que se blanquearon con agua (Ver tabla 22) (179).

Berry y Leddy en 1984, observaron los efectos sobre la textura de pasteles de carne que se cocinaron con distintas técnicas. Los pasteles que se cocinaron con la energía de microondas mostraron las calificaciones más bajas (25).

Britten y Trevino sometieron papas que se cocinaron por microondas o de la forma acostumbrada a la consideración de diez jueces entrenados y de ciento veinte consumidores. Los jueces determinaron que las papas que se cocinaron por microondas eran mejores, mientras que los consumidores no encontraron diferencias entre ambos productos (34).

Aunque algunos de los datos que se encontraron muestran contradicciones, se puede observar que la textura de los alimentos que se cocinan por microondas es satisfactoria. Las diferencias de los datos se deben a variabilidad de las condiciones en que se realizaron los diversos procesos.

**VII. ALTERACIONES BIOLÓGICAS CAUSADAS POR LAS MICROONDAS.**

Los efectos de las radiaciones de microondas sobre los sistemas biológicos se pueden clasificar en dos tipos: efectos térmicos y efectos no térmicos.

A) Efectos térmicos:

Estos efectos ocurren cuando la energía de microondas se convierte en calor por el mismo proceso con el que se cocinan los alimentos, ésto causa hipertermia y otras respuestas biológicas a altos niveles de exposición. Estos efectos dependen del grado de absorción y de la dispersión interna de las microondas en el organismo. La absorción de la energía de microondas por un medio depende a su vez de su constante dieléctrica (98,101,130,199).

La energía de las microondas se absorbe con facilidad por los organismos vivos, esto se debe principalmente a la elevada cantidad de agua que tienen los seres vivos, ya que el agua posee una constante dieléctrica alta y es una molécula polar (162); como los diversos tejidos tienen un contenido variable de agua, es evidente que aquellos con una mayor proporción de agua son los más afectados por las microondas; de forma similar aquellas partes del cuerpo humano que no tienen un flujo de sangre considerable, no serán capaces de disipar el calor con rapidez y entonces estarán sujetos a sufrir un daño adicional (130).

B) Efectos no térmicos:

Los efectos no térmicos ocurren cuando los enlaces moleculares tensionan la estructura molecular, ya sea expandiéndola o presionándola. Estos efectos pueden incluir rearrreglos con micro y macromoléculas y estructuras subcelulares, suficientes pa

ra causar alteraciones metabólicas y funcionales a nivel celular (130). En varios estudios que se han efectuado, se encontró que la radiación con microondas a una frecuencia de 60 a 120 GHz, puede cambiar las micromoléculas en los sistemas biológicos y alterar funciones tales como la división celular, así como la inactivación o activación de los virus (98).

Los cambios biológicos que se causan por la radiación de las microondas dependen de varios factores, que se relacionan con la interacción física entre el organismo receptor y la fuente de las microondas. Los factores principales que afectan el grado de daño son:

La frecuencia y la densidad de poder de la radiación de microondas.

El medio ambiente circundante (o que rodea) al organismo.

La profundidad de penetración de la energía de microondas en el organismo.

El modo en que la fuente genera la energía de microondas (continua o pulsante) (130). Así por ejemplo, se ha sugerido que a la misma intensidad la radiación pulsante puede provocar daños mayores que la radiación continua (162).

### 1.1 EFFECTOS EN LOS OJOS:

El ojo es un órgano muy sensible al calor y por lo tanto es mucho más sensible a la energía de microondas.

Se pueden formar cataratas como un resultado de la exposición de los ojos a la radiación de microondas, la cual aumenta la temperatura del ojo y produce una desnaturalización térmica de las proteínas del cristalino.

Appleton et al., Kramer et al., Carpenter et al. y Willi-

ams et al., mostraron que una sólo exposición a un nivel de poder de  $300 \text{ mW/cm}^2$  causó cataratas en los animales de prueba. Dally et al. y Richardson et al., reportaron la formación de cataratas en los ojos de perros y conejos, después de exposiciones repetidas a las microondas a 2450 MHz y 100 W de poder. Zaret en 1964, publicó varios casos de cataratas en personas que trabajaban con la energía de microondas, a niveles de poder de  $350 \text{ mW/cm}^2$  a varios  $\text{W/cm}^2$ , el tiempo de contacto de estos individuos fue de varios meses a más de un año (130).

Se ha visto que a niveles de exposición a la energía de microondas que van de 150 a  $200 \text{ mW/cm}^2$ , la córnea y el cristalino son sumamente susceptibles de sufrir daños (98).

Se diseñó un sistema para medir el movimiento del cristalino del ojo de ratas que es inducido por energía de microondas pulsante. El sistema logró medir el movimiento en forma muy precisa, pero los valores que se obtuvieron no indicaron si el movimiento del cristalino representó una deformación del cristalino, o simplemente un cambio en la posición del mismo (36).

## 1.2 EFFECTOS EN EL SISTEMA NERVIOSO:

Los datos sobre los efectos de la radiación de microondas sobre el sistema nervioso son controversiales.

Investigadores checoslovacos, polacos y soviéticos han realizado estudios sobre este tema desde 1950 (98).

Lobanova, irradió conejos por un tiempo de una hora diaria, durante un período de cuatro meses, a una intensidad de  $10 \text{ mW/cm}^2$ . Se observó una inhibición en los reflejos condicionales y cambios en el comportamiento de los conejos, los cuales recuperaron la normalidad después de dos meses de que se suspendió el tratamiento (98,130). En un experimento similar con

ratas, éstas mostraron una disminución en su movilidad y se aumentó el estado de aletargamiento, además de que con frecuencia no daban respuesta a la visión de comida (130).

Se expusieron conejos a la energía de microondas tres horas diariamente hasta completar un tiempo de doscientas horas, a 7  $\text{mW/cm}^2$  de poder. Se notaron grandes diferencias entre los electroencefalogramas de los animales de prueba y los de los animales de control (130).

Brown y Larsen, sometieron nervios de cangrejo a la acción de la energía de microondas pulsante y continua al mismo nivel de poder. La energía pulsante causó una mayor alteración (35).

Chow y Guy, aislaron nervios de rana, gato, conejo y músculo de este último; se registró la acción de los compuestos potenciales de las tensiones contráctiles y de la relajación del músculo antes, durante y después de la radiación con microondas a 2450 MHz. No se observaron cambios importantes en las características de los nervios o músculos (42).

### 1.3 EFFECTOS GENETICOS:

En células vivas de plantas, animales y personas que estuvieron bajo la energía de microondas en pulsos de 15 a 30 microsegundos, a una frecuencia de 5 a 40 MHz, se presentaron efectos genéticos adversos como aberraciones cromosómicas y anomalías mitóticas, (como ejemplo de dichas mutaciones, una mosca Drosophila melanogaster mostró en uno de sus descendientes la presencia de un gen letal recesivo). Otras investigaciones reportaron daños en los cromosomas de linfocitos humanos que se irradiaron en vivo, con una intensidad de 7 a 14  $\text{mW/cm}^2$ . En otro estudio también se reportaron anomalías en los cromoso-

mas de linfocitos humanos expuestos a un campo pulsante, a una frecuencia de 21 MHz (130).

#### 1.4 OTROS EFECTOS:

Entre los efectos reportados están: el deterioro en la producción de eritrocitos, síntesis de hemoglobina y cambios en las reacciones inmunológicas y en la permeabilidad de la membrana celular (21,98).

Se ha notado que los marcapasos que tienen un escudo propio son muy resistentes a la interferencia de las microondas, pero los que están encapsulados en plástico son susceptibles no sólo a las microondas, sino también a los motores eléctricos, radares, elevadores, teléfonos, cobertores eléctricos, etc. (19,98).

En un estudio que se efectuó con animales, la irradiación de microondas provocó la muerte de éstos por hipertermia, la intensidad de la radiación fue de unos pocos  $\text{mW}/\text{cm}^2$  a cientos de  $\text{mW}/\text{cm}^2$ , dependiendo del tamaño del animal y de la frecuencia de radiación (101).

Franceschetti y Pinto en 1984, investigaron la respuesta de la membrana celular a la acción de un campo electromagnético. Los cambios que se dieron no fueron muy drásticos, sin embargo se presentó un calentamiento de la célula (74).

Tinney et al. en 1976, concluyeron que la irradiación con la energía de microondas a una frecuencia de 960 MHz causó bradicardia en las tortugas a niveles de poder absorbido de 2 a 10  $\text{mW}/\text{g}$  y a niveles de poder más altos se produjo taquicardia por el calentamiento del músculo (203).

Se expusieron leucocitos humanos a 2450 MHz por dos horas



a un poder de 0.5 a 5 mW/ml, no se detectó ningún efecto sobre la vitalidad de los leucocitos, ni en la síntesis de DNA, RNA y proteínas (188).

Se han conducido muchos trabajos adicionales sobre el efecto de las microondas en: diversas células sanguíneas, macromoléculas orgánicas y sistemas orgánicos, médula ósea, membrana celular, sistemas formadores de sangre, etc. Los resultados que se han obtenido indican que la energía de microondas, al ser una energía no ionizante necesita de condiciones más drásticas (una mayor intensidad de poder, frecuencia más alta) para causar efectos adversos en los seres vivos. Sin embargo, como sí existe la posibilidad de algún daño, es necesario sopesar el beneficio del uso de las microondas contra el riesgo que se tiene, así como el tomar medidas para minimizar el riesgo lo más posible (como por ejemplo dar patrones de seguridad) (130). Las normas para proteger la salud no pueden establecerse desde estudios que se efectúen sólo con animales, aún cuando sean investigaciones completas y bien elaboradas. Los estudios con personas generalmente se han realizado durante accidentes de sobreexposición a las radiaciones; se han publicado síntomas subjetivos como dolor de cabeza, mareos, fatiga, debilidad, melancolía y confusión, pero ninguno de esos estudios contienen datos adecuados sobre los niveles de exposición (98).

En la Conferencia Americana de los Higienistas de la Industria Gubernamental se adoptó el valor umbral para las personas que están por su trabajo expuestas diariamente durante ocho horas a la radiación de microondas, este valor es de  $10 \text{ mW/cm}^2$  en un rango de frecuencia de 200 MHz a 300 GHz. Dicho valor no debe confundirse con los valores permitidos de posibles fugas en los hornos de microondas (Ver pág 34) (130).

**VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

1.- La energía que producen las microondas representa un buen método para procesar alimentos, principalmente en lo que se refiere al ahorro de energía, reducción del tiempo de cocción y por lo tanto del costo del producto.

2.- En general se puede establecer que no existen diferencias significativas en cuanto al valor nutritivo de los alimentos que se procesan con microondas y los que se elaboran mediante otros métodos, ya que más que el método de cocción, lo que más influye en el mayor o menor grado de retención de los nutrientes son las condiciones del proceso como tiempo, temperatura, cantidad de agua añadida, etc.

3.- Las diferencias que se encontraron en algunos de los resultados de las diversas investigaciones se deben a:

Variabilidad de las condiciones en que se efectuaron los procesos (se deben considerar el tamaño de la carga, localización del alimento dentro del horno, número de muestras, alza de la temperatura durante el proceso, duración del mismo, cantidad de agua que se añadió, etc.).

Diferencias existentes entre los productos.

En la mayoría de los reportes no se presentaron los resultados en base seca, lo que puede causar datos erróneos.

4.- Los alimentos que se cocinan por microondas sufren una mayor pérdida de humedad que los que se cocinan por otros métodos, por lo que el rendimiento es menor.

5.- La cantidad de agua que se añade durante el proceso por microondas debe ser mínima, ya que entre más se agregue, se dará

una mayor pérdida de los nutrientes solubles en ella.

6.- El efecto de las microondas sobre las proteínas y carbohidratos de los alimentos es menor, debido a que por este método no se presentan las reacciones de Maillard, mismas que reducen el aprovechamiento de los nutrientes de los alimentos.

7.- En general las calificaciones para la evaluación sensorial de los alimentos que se procesan por microondas fueron más bajas que las que se obtuvieron por otros métodos, sin embargo estas calificaciones son bastante aceptables.

8.- Una de las causas más importantes en la preferencia del juez o consumidor por los alimentos horneados de manera tradicional se debe a que el calentamiento por microondas no permite que la superficie del alimento se dore, ni que se forme la corteza tostada que es tan atractiva en dichos productos; esta desventaja se puede eliminar si se combina el calentamiento por microondas con otro tipo de calentamiento, o bien si se introduce en el horno de microondas una parrilla doradora.

9.- Se puede observar que el daño en el valor nutritivo y en la calidad sensorial del alimento se incrementa al aumentar el nivel de poder, la temperatura y el tiempo, por lo cual se recomienda usar niveles de poder bajos, el menor tiempo y temperatura posibles.

10.- Las microondas son una forma de energía no ionizante, de modo que necesitan de condiciones muy severas para causar efectos adversos a la salud del hombre; además los hornos de microondas se construyen de tal manera que se evita al máximo la exposición

a la radiación cuando el consumidor los opera de una forma apropiada.

11.- Se necesitan más investigaciones sobre los efectos de las microondas en los nutrientes y calidad sensorial y se recomienda que los investigadores realicen un esfuerzo conjunto para establecer normas que disminuyan la variación en las condiciones de los experimentos.

12.- Se deben de efectuar más estudios en el área de tecnología de alimentos, con el uso de la energía de microondas, empacado y mercado de los mismos. Además se recomienda que se brinde una mayor información a los consumidores sobre el uso adecuado del horno, así como de recetas básicas y desarrollo del método para cocinar comidas completas.

13.- El uso de las microondas en el campo de los alimentos tiene un futuro brillante, así como una cantidad muy numerosa de aplicaciones.

**IX. ANEXOS .**

Milímetro . . . . .	mm
Centímetro . . . . .	cm
Metro . . . . .	m
Hora . . . . .	H
Minuto . . . . .	min
Segundo . . . . .	seg
Kilogramo . . . . .	Kg
Gramo . . . . .	g
Miligramo . . . . .	mg
Microgramo . . . . .	$\mu$ g
Ergio . . . . .	e
Hertz . . . . .	Hz
Megahertz . . . . .	MHz
Gigahertz . . . . .	GHz
Miliwatts . . . . .	mW
Watts . . . . .	W
Kilowatts . . . . .	KW
Mililitros . . . . .	ml
Litros . . . . .	l
Caloría . . . . .	Cal
Grados centígrados . . . . .	$^{\circ}$ C
Potencial hidrógeno . . . . .	pH
Porcentaje . . . . .	%
Acido tiobarbitúrico . . . . .	TBA
Relación de la eficiencia proteínica . . . . .	PER
Factor de disipación o pérdida tangente . . . . .	tan $\delta$
Constante dieléctrica . . . . .	$\epsilon'$
Factor de pérdida . . . . .	$\epsilon''$

X. BIBLIOGRAFIA.



- 1.- Amerine, Pangborn y Roessler. 1965. Principles of Sensory Evaluation of Food. 1a. Ed., Academic Press: London. pp 275 - 511.
- 2.- Andres, G. (Editor). 1978 400°F ovenable paperboard trays ideal for microwave market. Food Proc. 39 (3): 37,38.
- 3.- Andres, G. (Editor). 1979. Over 150 food processors developing ovenable paperboard tray products. Food Proc. 40 (3): 62 - 65.
- 4.- Andres, G. (Editor). 1981. Glass could be convenience package of microwave era. Food Proc. 42 (3): 82,83.
- 5.- Ang, W., Chang, M., Frey, A.E. y Livingston, G.E. 1975. Effects of heating methods on vitamin retention in six fresh or frozen prepared food products. J. Food Sci. 40 (5): 997 - 1003.
- 6.- Ang, T.K., Ford, J.D. y Pei, D.C.T. 1978. Optimal modes of microwave freeze drying of food. J. Food Sci. 43 (3): 648, 649.
- 7.- Ang, C.Y. y Moseley, F.A. 1980. Determination of thiamin and riboflavin in meat and meat products by high-pressure liquid chromatography. J. Agric. Food Chem. 28 (3): 483 - 485.
- 8.- Annis, P.J. 1980. Design and use of domestic microwave ovens. J. Food Prot. 43 (8): 629 - 632.
- 9.- Apgar, J., Cox, N., Downey, I. y Fenton, P. 1959. Cooking pork electronically. J. Am. Diet. Assoc. 35 (12): 1260 - 1269.

- 10.- Armbruster, G. y Haefele, C. 1975. Quality of foods after cooking in 915 MHz and 2450 MHz microwave appliances using plastic film covers. J. Food Sci. 40 (4): 721 - 723.
- 11.- Ashoor, S.H. y Zent, J.B. 1984. Maillard browning of common amino acids and sugars. J. Food Sci. 49 (4): 1206 - 1207.
- 12.- Attiyate, Y. (Editor). 1979. Microwave vacuum drying: first industrial application. Food Eng. Int'l. 4 (1): 30 , 31.
- 13.- Augustin, J., Beck, G. y Marousek, G.I. 1981. Quantitative determination of ascorbic acid in potatoes and potato products by high performance liquid chromatography. J. Food Sci. 46 (2): 312 - 315.
- 14.- Back, D.J. 1982. Ferrite coatings enhance microwave cooking. Des. News. 21 (8): 120, 121.
- 15.- Bakanowski, S.M. y Zoller, J.M. 1984. Endpoint temperature distributions in microwave and conventionally cooked pork. Food Tech. 38 (2): 45 - 51.
- 16.- Baker, H. y Fenton, P. 1951. Dielectric vs. stewpan cookery. J. Am. Diet. Assoc. 27 (1): 32 - 35.
- 17.- Baldwin, R.E., Korschgen, B.M., Russell, M.S., y Mabesa, L. 1976. Proximate analysis, free amino acids, vitamin and mineral content of microwave cooked meat. J. Food Sci. 41 (4): 762 - 764.
- 18.- Baldwin, R.E., Korschgen, B.M. y Drause, G.F. 1979. Comparison of sensitivity of microwave and conventional

- methods for meat cookery. J. Food Sci. 44 (2): 624, 625.
- 19.- Baldwin, R.E. 1983. Microwave cooking: An overview. J. Food Prot. 46 (3): 266 - 269.
- 20.- Barbano, D.M. y Valle M.E. 1984. Microwave drying to determine the solids content of milk and cottage and cheddar cheese. J. Food Prot. 47 (4): 272 - 278.
- 21.- Barnes, P.S. y Hu, Ch.J. 1978. Model for some nonthermal effects of radio and microwave fields on biological membranes IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 25 (9): 742 - 746.
- 22.- Barron, L.P. 1978. Recent developments in bakery processes. Food Proc. Ind. 47 (563): 24, 28.
- 23.- Beckman, K.J., Chambers IV, E. y Gnagi, M.M. 1984. Color codes for paired preference and hedonic testing. J. Food Sci. 49 (4): 1115 - 1116.
- 24.- Bender, A.E. 1978. Food Processing and Nutrition. 1a. Ed., Academic Press: Londres. pp 96 - 99, 113 - 115.
- 25.- Berry, B.W. y Leddy, K.F. 1984. Effects of fat level and cooking method on sensory and textural properties of ground beef patties. J. Food Sci. 49 (3): 870 - 875.
- 26.- Big benefits in microwave cooking. 1982. Applications grow for this efficient, money-saving modern technology. Food Eng. Int'l. 6 (6): 61, 63.
- 27.- Binkley, C.R. y Wiley, R.C. 1981. Chemical and physical treatment effects on solid-liquid extraction of apple tissue. J. Food Sci. 46 (3): 729 - 732.

- 28.- Birch, (Editor). 1977. Sensory Properties of Foods. 1a. Ed., Applied science publishers LTD; Londres. pp 28 - 57, 215 - 243.
- 29.- Bodrero, K.O., Pearson, A.M. y Magee, W.T. 1980. Optimum cooling times for flavor development and evaluation of flavor quality of beef cooked by microwaves and conventional methods. J. Food Sci. 46 (4): 613 - 616.
- 30.- Bodwell, C.E. y Womack, M. 1978. Effects of heating methods on protein nutritional value of five fresh or frozen prepared food products. J. Food Sci. 43 (5): 1543 - 1549.
- 31.- Bookwalter, G.N., Shukla, T.P. y Kwolek, W.F. 1982. Microwave processing to destroy Salmonella in corn-soy-milk blends and effect on product quality. J. Food Sci. 47 (5): 1683 - 1686.
- 32.- Boutin, R. 1978. Microwave oven growth spurts changes in convenience food packaging. Food Prod. Dev. 12 (1): 91, 92.
- 33.- Brady, P.L. y Hunecke, M.E. 1985. Correlations of sensory and instrumental evaluations of roast beef texture. J. Food Sci. 50 (2): 300 - 303.
- 34.- Brittin, H.C. y Trevino, J.E. 1980. Acceptability of microwave and conventionally baked potatoes. J. Food Sci. 45 (5): 1425 - 1427.
- 35.- Brown, P.V. y Larsen, L.E. 1980. Differing effects of pulsed and CW microwave energy upon nerve function as detected by birefringence measurement. IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 28 (10): 1126 - 1133.

- 36.- Brown, P.V. 1983. Laser interferometer for measuring microwave induced motion in eye lenses in vitro. Rev. Sci. Instrum. 54 (1): 85 - 89.
- 37.- Campbell, C.L., Lin, T.Y. y Proctor, B.E. 1958. Microwave vs. conventional cooking. J. Am. Diet. Assoc. 34 (4): 365 - 370.
- 38.- Can aluminium containers be used in microwave ovens? 1978. Food Eng. Int'l. 3 (9): 35.
- 39.- Catálogo de la Población de México, su Ocupación y sus Niveles de Bienestar. 1979. Talleres de la Dirección General de Integración y Análisis de la Información: México, D.F. pp 78 - 81, 93 - 96.
- 40.- Causey, K. y Fenton, P. 1951. Effect of reheating on palatability, nutritive value, and bacterial count of frozen cooked foods. J. Am. Diet. Assoc. 27 (5): 390 - 395.
- 41.- Chambers IV, E., Cowan, O.A. y Harrison, D.L. 1982. Histological characteristics of beef and pork cooked by dry or moist heat in a conventional or microwave oven. J. Food Sci. 47 (6): 1936 - 1939, 1947.
- 42.- Chou, Ch. y Guy, A.W. 1978. Effects of electromagnetic fields on isolated nerve and muscle preparations. IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 26 (3): 141 - 146.
- 43.- Chung, S.Y., Morr, C.V. y Jen, J.J. 1981. Effect of microwave and conventional cooking on the nutritive value of Colossus Peas (*Vigna unguiculata*). J. Food Sci. 46 (1): 272, 273.

- 44.- Collison, R., Johnson, K., Okikiolu, O.O. y West, A. 1980. Subjective and objective assessments of degree of cooking of potatoes heated by different methods. J. Food Tech. 15 (1): 1 - 8.
- 45.- Collison, R., y Beer, N.J. 1980. Technical note: Energy utilization diuring microwave cooking. J. Food Tech. 15 (4): 455 - 457.
- 46.- Cooper, R.G., Chen, T. y King, M.A. 1978. Thermal destruction of folacin in microwave and conventional heating. J. Am. Diet. Assoc. 73 (4): 406 - 410.
- 47.- Copson, D.A. 1975. Microwave Heating. 1a. Ed., The Avi Publishing Company, Inc.: Westport, Conn, pp 1 - 36, 262 - 337, 360 - 515, 570 - 579.
- 48.- Coetell, C.A., Penfield, M.P. y Rieman, M.J. 1985. Quality of restructured steaks: Effects of days on feed, fat level, and cooking method. J. Food Sci. 50 (3): 685 - 688.
- 49.- Gremer, M.L. y Chipley, J.R. 1980. Hospital ready-prepared type foodservice system: Time and temperature conditions, sensory and microbiological quality of scrambled eggs. J. Food Sci. 45 (5): 1422 - 1424, 1429.
- 50.- Gremer, M.L. y Chipley, J.R. 1980. Time and temperature, microbiological, and sensory assessment of roast beef in a hospital foodservice system. J. Food Sci. 45 (5): 1472 - 1477.
- 51.- Gremer, M.L. 1981. Microwave heating of scrambled eggs in a hospital foodservice system. J. Food Sci. 46 (5):

1573 - 1576, 1581.

- 52.- Cremer, M.L. 1982. Sensory quality and energy use for scrambled eggs and beef patties heated in institutional microwave and convection ovens. J. Food Sci. 47 (3): 871 - 874.
- 53.- Cremer, M.L. 1983. Sensory quality of spaghetti with meat sauce after varying holding treatments and heating in institutional microwave and convection ovens. J. Food Sci. 48 (6): 1579 - 1582.
- 54.- Cross, G.A. y Fung, D.Y.C. 1982. The effect of microwaves on nutrient value of foods. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 16 (4): 355 - 381.
- 55.- Cuddy, M.E. y Zall, R.R. 1982. Performance of lipid dried acid whey in extruded and baked products. Food Tech. 37 (1): 54 - 59.
- 56.- Cunningham, F.E. 1980. Influence of microwave radiation on Psychrotrophic bacteria. J. Food Prot. 43 (8): 651 - 655.
- 57.- Curnutte, B. 1980. Principles of microwave radiation. J. Food Prot. 43 (8): 618 - 624.
- 58.- Dahl, C.A. y Matthews, M.E. 1980. Cook/chill foodservice system with a microwave oven thiamin content in portions of beef loaf after microwave heating. J. Food Sci. 45 (3): 608 - 612.
- 59.- Dahl, C.A. y Matthews, M.E. 1980. Effect of microwave heating in cook/chill foodservice systems. J. Am. Diet. Assoc. 77 (3): 289 - 295.

- 60.- Dahl, G.A., Jen, J.J. y Huang, P.D. 1982. Cook/chill foodservice systems with conduction, convection and microwave reheat subsystems. Nutrient retention in beef loaf, potatoes and peas. J. Food Sci. 47 (4): 1089 - 1095.
- 61.- Day, B.P. y Gregory III, J.F. 1981. Determination of folacin derivatives in selected foods by high performance liquid chromatography. J. Agric. Food Chem. 29 (2):
- 62.- Descongelación de melocotones con microondas. 1978. Agroquímica y Tec. de Alimentos 18 (4): 388.
- 63.- Developing microwave package instructions. 1980. Food Prod. Dev. 14 (9): 58.
- 64.- Dietrich, W.C., Huxsell, C.G. y Guadagni, D.G. 1970. Comparison of microwave, conventional and combination blanching of brussels sprouts for frozen storage. Food Tech. 24 (3): 105 - 109.
- 65.- Doty, N.C. y Baker, C.W. 1977. Microwave conditioning of hard red spring wheat. I. Effects of wide power range on flour and bread quality. Cereal Chem. 54 (4): 717 - 727.
- 66.- Drew, F. y Rhee, K.S. 1978. Fuel consumption by cooking appliances. J. Am. Diet. Assoc. 72 (1): 37 - 44.
- 67.- Drew, F. y Rhee, K.S. 1979. Microwave cookery of beef patties: Browning methods. J. Am. Diet. Assoc. 74 (6): 652 - 656.
- 68.- Drew, F., Rhee, K.S. y Carpenter, Z.L. 1980. Cooking at variable microwave powers levels. J. Am. Diet. Assoc. 77 (4): 455 - 459.



- 69.- Dunn, N.A. y Heath, J.L. 1979. Effect of microwave energy on poultry tenderness. J. Food Sci. 44 (2): 339 - 342.
- 70.- Eheart, M.S. 1967. Effect of microwave vs water-blan-  
ching on nutrients in broccoli. J. Am. Diet. Assoc. 50  
(3): 207 - 211.
- 71.- Evans, E., Carruthers, S.C. y Witty, R. 1979. Effects of  
cooking methods on the protein quality of meats as deter-  
mined using a Tetrahymena pyriformis W growth assay. J.  
Food Sci. 44 (6): 1678 - 1680.
- 72.- Faillon, G., Couasnard, C. y Maloney, E.D. 1978. New  
uses of microwave power. Food Eng. Int'l. 3 (9): 46 -  
48.
- 73.- Forwalter, J. (Associate Editor). 1978. Microwave/vacuum  
dryer cuts drying time by 1/3 a 100°F. Food Proc. 39  
(12): 176, 177.
- 74.- Franceschetti, G. y Pinto, I. 1984. Cell membrane nonli-  
near response to an applied electromagnetic field. IEEE  
Trans. Microwave Theory Tech. 32 (7): 653 - 658.
- 75.- Fulton, L. y Davis, G. 1983. Roasting and braising beef  
roasts in microwave ovens. J. Am. Diet. Assoc. 83 (5):  
560 - 563.
- 76.- Fung, D.Y.C. y Cunningham, F.E. 1980. Effect of microwa-  
ves on microorganisms in foods. J. Food Prot. 43 (8):  
641 - 650.
- 77.- Gast, B., Seperich, G.J. y Lytle, R. 1980. Beef prepara-  
tion expectations as defined by microwave user survey a

- marketing opportunity. Food Tech. 14 (10): 41 - 43.
- 78.- Goldblith, S.A. 1966. Basic principles of microwaves and recent developments. Adv. Food Res. XV: 277 - 301.
- 79.- Goldblith, S.A., Tannenbaum, S.R. y Wang, D.I.C. 1968. Thermal and 2450 MHz microwave energy effect on the destruction of thiamine. Food Tech. 22 (10): 64 - 66
- 80.- Goldblith, S.A., Rey, L. y Rothmayer, W.W. 1975. Freeze drying and Advanced Food Technology. 1a. Ed., Academic Press, Inc.: Londres pp 691 - 714.
- 81.- González, V.M. y de la Torre E. 1974. Física Básica. 1a. Ed., Editorial Progreso, S.A.: México, D.F. pp 151 - 154, 174, 195, 196.
- 82.- Good, D.L. 1980. Practical applications of microwave energy: Introduction. J. Food Prot. 43 (8): 617.
- 83.- Gordon, J. y Noble, I. 1959. Comparison of electronic vs conventional cooking of vegetables. J. Am. Diet. Assoc. 35 (3): 241 - 244.
- 84.- Greag, W.S. 1971. The Economics of Food Processing. 1a. Ed., The Avi Publishing Company, Inc.: Westport, Conn. pp 187 - 190.
- 85.- Green, W.C. y Park, K.K. 1980. Comparison of AOAC, microwave and vacuum oven methods for determining total solids in milk, J. Food Prot. 43 (10): 782,783.
- 86.- Gregory, J.F., Day, B.P. y Ristew, K.A. 1982. Comparison of high performance liquid chromatographic radio metric and L. Cassi methods for the determinacion of folacin in selected foods. J. Food Sci. 47 (5): 1568 - 1570.

- 87.- Gregory III, J.P. 1983. Methods of vitamin assay for nutritional evaluation of food processing. Food Tech. 37 (1): 75 - 79.
- 88.- Hafez, Y.S., Mohamed, A.I., Hewedy, F.M. y Singh, G. 1985. Effects of microwave heating on solubility digestibility and metabolism of soy protein. J. Food Sci. 50 (2): 415 - 417, 423.
- 89.- Hall, K.N. y Lin, C. 1981. Effect of cooking rates in electric or microwave oven on cooking losses and retention of thiamin in broilers. J. Food Sci. 46 (4): 1292, 1293.
- 90.- Hansen, D.W. 1979. Ceramic utensils for microwaving. Cer. Ind. 112 (5): 16 - 18.
- 91.- Harris, R. y Karraa, E. 1975. Nutritional Evaluation of Food Processing. 2a. Ed., The Avi Publishing Company, Inc.: Londres. pp 11 - 15, 491 - 497.
- 92.- Harrison, D.L. 1980. Microwave versus conventional cooking methods: effects on food quality attributes. J. Food Prot. 43 (7): 633 - 637.
- 93.- Hawrysk, Z.J., Price, M.A. y Berg, R.T. 1979. The effect of conventional and microwave cooking on the eating quality of beef from bulls of three differing breed-types. J. Can. Inst. Food Sci. Technol. 12 (2): 78 - 83.
- 94.- Hayward, L.H. y Kropf, D.H. 1980. Sample position effects on moisture analyses by microwave oven method. J. Food Prot. 43 (8): 656, 657.
- 95.- Headley, E.M. y Jacobson, M. 1960. Electronic and conven

- tional cookery of lamb roasts. J. Am. Diet. Assoc. 16 (4): 337 - 340.
- 96.- Hidayat, S. 1984. Statistical evaluation of flavor and texture profile methods for describing food products. Diss. Abstr. Int. B. 44 (10): 3029 - 3030.
- 97.- Higgins, T.M., Brenner, S., Eaton, A. y Craig, V. 1949. Effect of electronic cooking on nutritive value of foods. J. Am. Diet. Assoc. 25 (1): 39 - 45.
- 98.- Hileman, B. 1982. Radiofrequency and microwave radiation. Environ. Sci. Technol. 16 (8): 442 - 444.
- 99.- Hill, M. y Reagan, S.P. 1982. Effect of microwave and conventional baking on yellow cakes. J. Am. Diet. Assoc. 80 (1): 52 - 55
- 100.- Hill, P.R. 1979. Nutritional evaluation of soy-banana, whole soy flour and microwave processed whole soy-bean. Diss. Abstr. Int. B. 40 (8): 3645.
- 101.- Hjereson, D.L. 1984. A microwave hyperthermia model of febrile convulsions. Diss. Abstr. Int. B. 45 (5): 1616.
- 102.- Hoffman, G.J. y Zabik, M.E. 1985. Effects of microwave cooking/reheating on nutrients and food systems: A review of recent studies. J. Am. Diet. Assoc. 85 (8): 922 - 926.
- 103.- Hoffman, G.J. y Zabik, M.E. 1985. Current and future foodservice applications of microwave cooking/reheating. J. Am. Diet. Assoc. 85 (8): 929 - 933.
- 104.- Holmes, Z.A. y Woodburn, M. 1981. Heat transfer and temperature of foods during processing. Crit. Rev. Food

Sci. Nutr. 14 (3): 231 - 294.

- 105.- Horwitz, W. (Editor). 1980. Association of official analytical chemists (A.O.A.C.). Official methods of analysis. 1a. Ed.: Washington, D.C.
- 106.- Hostetler, R.L. y Sutson, T.R. 1978. Investigations of a rapid method for meat tenderness evaluation using microwave cookery. J. Food Sci. 43 (2): 304 - 306.
- 107.- Hsieh, Y.P.C. 1980. Ultrastructural changes in pre- and post-rigor beef muscle caused by conventional and microwave cookery. Meat Sci. 4 (4): 299 - 311.
- 108.- Hubble, P.E. 1982. Consider microwave drying. Chem. Eng. 89 (20): 125 - 127.
- 109.- Hutton, C.W., Neggers, Y.H. y Love, T.O. 1981. Scanning electron microscopy, proteolytic enzyme activity, and acceptability of beef semitendinosus cooked by microwaves and conventional heat. J. Food Sci. 45 (5): 1309 - 1314, 1319.
- 110.- IFT. 1981. Guidelines for the preparation and review of papers reporting sensory evaluation data. Food Tech. 35 (4): 16, 17.
- 111.- IFT. 1981. Sensory evaluation guide for testing food and beverage products. Food Tech. 35 (11): 50 - 58.
- 112.- Janicki, L.J. y Appledorf, H. 1974. Effect of broiling, grill frying and microwave cooking on moisture, some lipid components and total fatty acids of ground beef. J. Food Sci. 39 (4): 715 - 717.
- 113.- Jennings, W.G. 1977. Objective Measurements of Flavor

Quality. 1a. Ed., Library of Congress.: Washington, D. C. pp 1 - 7.

- 114.- Johnston, M.B. y Baldwin, R.E. 1980. Influence of microwave reheating on selected quality factors of roast beef. J. Food Sci. 45 (6): 1460 - 1462.
- 115.- Jones, K.I. y Griffith, G. 1969. Microwave drying of herbage. Nutr. Abstr. 39 (2): 369.
- 116.- Kamman, J.F., Labuza, T.P. y Warthesen, J.J. 1980. Thiamin and riboflavin analysis by high performance liquid chromatography. J. Food Sci. 45 (6): 1497 - 1499.
- 117.- Karen, M. 1984. Turbot fillet sections cooked by microwave and conventional heating methods: objective and sensory evaluation. Diss. Abstr. Int. B. 45 (2): 503.
- 118.- Ke, P.J., Linke, B.A. y Ackman, R.G. 1978. Acceleration of lipid oxidation in frozen mackerel fillet by pretreatment with microwave heating. J. Food Sci. 43 (1): 38 - 40.
- 119.- Kent, M. y Stroud, G.D. 1981. Microwave attenuation of frozen Nephrops norvegicus. J. Food Technol. 16 (6): 647 - 654.
- 120.- Khan, A.R., Robinson, R.J. y Johnson, J.A. 1980. Starch hydrolysis by acid and microwave energy. J. Food Sci. 45 (5): 1449, 1451.
- 121.- Khan, M.A., Klein, B.P. y Lee, F.V. 1982. Thiamin content of freshly prepared and leftover italian spaghetti served in a university cafeteria foodservice. J. Food Sci. 47 (6): 2093, 2094.

- 122.- Kirleis, A.W. y Brown, H.M. 1980. Certain functional properties of microwave and hot-water processed crambe meals. J. Food Sci. 45 (5): 1367 - 1369, 1375.
- 123.- Klein, B.P., Lee, H.C., Reynolds, P.A. y Wangles, N.C. 1979. Polacin content of microwaves and conventionally cooked frozen vegetables. J. Food Sci. 44 (1): 286 - 288.
- 124.- Klein, B.P., Kuo, C.H.Y. y Boyd, G. 1981. Polacin and ascorbic acid retention in fresh raw microwave, and conventionally cooked spinach. J. Food Sci. 46 (2): 640, 641.
- 125.- Klein, L.B. y Mondy, N.I. 1981. Comparison of microwave and conventional baking of potatoes in relation to nitrogenous constituents and mineral composition. J. Food Sci. 46 (6): 1874 - 1877, 1880.
- 126.- Klein, L.B. 1982. Potatoes in relation to magnesium fertilizacion, sprouting, microwave baking and product development. Diss. Abstr. Int. B. 42 (12): 4731, 4732.
- 127.- Korschgen, B.M. y Baldwin, R.E. 1978. Moist heat microwave and conventional cooking of round roasts of beef. J. Microwave Power 13 (1): 257 - 259.
- 128.- Korschgen, B.M., Berneking, J.M. y Baldwin, R.E. 1980. Energy requirements for cooking beef rib roasts. J. Food Sci. 45 (4): 1054, 1055.
- 129.- Kylen, A.M., Charles, V.R., McGrath, B.H., West, J.M. y Van Duyn, F.O. 1961. Microwave cooking of vegetables. J. Am. Diet. Assoc. 39 (4): 321 - 326.

- 130.- Lambert, J.P. 1980. Biological hazards of microwave radiation. J. Food Prot. 43 (8): 625 - 628.
- 131.- Lanier, J.J. y Sistrunk, W.A. 1979. Influences of cooking method on quality attributes and vitamin content of sweet potatoes. J. Food Sci. 44 (2): 374 - 376, 380.
- 132.- Lee, F.A. 1958. The blanching process. Adv. Food Res. VIII: 87 - 91.
- 133.- Les micro-ondes. 1984. Nouvelles Illustrées (45): 15.
- 134.- Levy, D.J. 1979. Future of home microwave cooking. Food Prod. Dev. 13 (12): 100, 101.
- 135.- Loh, J. 1980. Kinetics of the thermal fracturability loss of edible plant tissue and microwave sterilization as a means to improve the fracturability retention of heat processed vegetables. Dis. Abstr. Int. B. 40 (9): 4188.
- 136.- Mabesa, L.B. 1978. Quality evaluation of microwave cooked vegetables. Diss. Abstr. Int. B. 39 (2): 642.
- 137.- Mabesa, L.B. y Baldwin, R.E. 1979. Ascorbic acid in peas cooked by microwaves. J. Food Sci. 44 (3): 932.
- 138.- Mabesa, L.B., Baldwin, R.E. y Garner, G.B. 1979. Non-volatile organic acid profiles of peas and carrots cooked by microwaves. J. Food Prot. 42 (5): 385 - 388.
- 139.- Madeira, K. y Penfield, M.P. 1985. Turbot fillet sections cooked by microwave and conventional heating methods: objective and sensory evaluation. J. Food Sci. 50 (1): 172 - 177.
- 140.- Maheshwart, P.N. 1981. Studies on microwave processing



- of rapeseed. Diss. Abstr. Int. B. 42 (3): 955.
- 141.- Mai, J., Tsai, G.H., Armbruster, G., Chu, P. y Kinsella, J.E. 1980. Effects of microwave cooking of food fatty acids: no evidence chemical alteration or isomerization. J. Food Sci. 45 (6): 1753 - 1755.
- 142.- Martin, D.J. y Tsien, C.G. 1981. Baking high-ratio white layer cakes with microwave energy. J. Food Sci. 46 (5): 1507 - 1513.
- 143.- Matthews, M.E. 1985. Microwave ovens: effects on food quality and safety. J. Am. Diet. Assoc. 85 (8): 919 - 921.
- 144.- Mattson, P. 1978. Bacon precooked by microwavers offers the potential of lowering nitrosamine levels. Food Prod. Dev. 12 (4): 47.
- 145.- Matz, S.A. y Matz, T.D. 1978. Cookie and Cracker Technology. 2a. Ed., The Avi Publishing Company, Inc.: Westport, Conn. pp 288 - 304.
- 146.- McMullen, E.A. 1974. A comparison of the wight loss tenderness and nutrient retention of selected microwave products cooked undercover and in oven film. Diss. Abstr. Int. B. 32 (6): 1979.
- 147.- Mc Neil, M. y Penfield, M.P. 1983. Turkey quality as affected by ovens of varying energy costs. J. Food Sci. 48 (3): 853 - 855.
- 148.- Medeiros, H., Kirleis, A.W. y Vetterl, R.J. 1978. Micro wave inactivation of thioglucosidase in intact crambe seeds. J. Am. Oil Chem. Society 55 (10): 679 - 682.

- 149.- Medición de humedad de suelos por microondas. 1981. Inf. Cien. y Tec. 3 (45): 14.
- 150.- Meyer, L.H. (Editor). 1978. Food Chemistry. 3a. Ed., The Avi Publishing Company, Inc.: westport, Conn. pp 148 - 154, 259, 260, 261.
- 151.- Microwave agenda: Improved products, expanded special cooking instructions. 1980. Food Prod. Dev. 14 (8): 14, 20.
- 152.- Microwave and gama radiation of wheat. 1982. Ger. Foods World 27 (2): 58.
- 153.- Microwave applications in the food industry. 1966. Food Tech. 20 (8): 34, 36.
- 154.- Microwave ovens. 1984. Ger. Foods World 29 (8): 470.
- 155.- Microwave technology a new influence on the foods industry. 1979. Ger. Foods World 24 (7): 296, 297.
- 156.- Microwave utilization in the rapid determination of flour moisture. 1984. Ger. Foods World 29 (10): 647.
- 157.- Monte, W.G. y Landau-West, D. 1983. Expanded polystyrene containers in microwave cookery. J. Am. Diet. Assoc. 83 (3): 323 - 327.
- 158.- Moore, K. (Editor). 1979. Microwave technology points to creative routes for new product ideas, developments. Food Prod. Dev. 13 (7): 36, 37.
- 159.- Moore, L.J., Harrison, D.L. y Dayton, A.D. 1980. Differences among top round steaks cooked by dry or moist heat in a convencional or microwave oven. J. Food Sci. 45 (4): 777 - 781.

- 160.- Morris, G.E. (Editor). 1979. Developing foods for microwave ovens. Food Eng. Int'l. 4 (10): 29 - 32, 35 - 38.
- 161.- Mudget, R.E. 1982. Electrical properties of foods in microwave processing. Food Tech. 37 (2): 109 - 115.
- 162.- Nilson, B.O. y Pettersson, L.E. 1979. A mechanism for high frequency electromagnetic field-induced biological damage?. IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 27 (6): 616 - 618.
- 163.- Noble, T. y Gómez, L. 1962. Vitamin retention in meat cooked electronically. J. Am. Diet. Assoc. 41 (1): 217.
- 164.- Okress, E.C. 1968. Microwave Power Engineering. Vol. II. 1a. Ed., Academic Press, Inc.: Londres, pp 1 - 100.
- 165.- Osborne, y Voogt. 1978. The Analysis of Nutrients in Foods. 1a. Ed., Academic Press, Inc.: Londres. pp 116 - 225.
- 166.- Ovenable containers manufactures form paperboard. 1979. Food Prod. Dev. 13 (8): 41.
- 167.- Park, J., Rosenau, J.R. y Peleg, M. 1984. Comparison of four procedures of cheese meltability evaluation. J. Food Sci. 48 (4): 1158 - 1162, 1170.
- 168.- Pearson, D. 1976. Técnicas de Laboratorio para el Análisis de Alimentos. 1a. Ed., Editorial Acribia: Zaragoza, España. pp 41 - 57, 60 - 71, 74 - 77, 145 - 152, 198, 240, 241, 280, 281.
- 169.- Penner, K.K. y Bowers, J.A. 1973. Flavor and chemical characteristics of conventionally and microwave reheated pork. J. Food Sci. 38 (2): 553.

- 170.- Pikul, J., Leszczynski, D.E., Beethel, P.J. y Kumsrow, P. A. 1984. Effects of frozen storage and cooking on lipid oxidation in chicken meat. J. Food Sci. 49 (3): 838 - 843.
- 171.- Pomeranz, A. y Meloan. 1971. Food Analysis Theory and Practice, Ia. Ed., The Avi Publishing Company, Inc.: Westport, Conn. pp 652 - 658.
- 172.- Potter, N.N. 1973. La Ciencia de los Alimentos. Ia. Ed., EDUTEX, S.A.: México, D.F. pp 111 - 130, 349 - 358.
- 173.- Pour-El, A., Nelson, S.O., Peck, E.E., Tjho, B. y Stetson, L.E. 1981. Biological properties of VHF- and microwave heated soybeans. J. Food Sci. 46 (3): 880 - 885, 895.
- 174.- Powers, J.J. 1984. Using general statistical programs to evaluate sensory data. Food Tech. 38 (6): 74 - 82, 84.
- 175.- Practical tips from firms, consultant ease creation of microwave foods. 1980. Food Prod. Dev. 14 (9): 32, 34, 36, 58.
- 176.- Proctor, B.E. y Goldblith, S.A. 1951. Electromagnetic radiation fundamentals and their applications in food technology. Adv. Food Res. III: 119 - 190.
- 177.- Quels plats utiliser dans votre four à micro-ondes?. 1985. Nouvelles Illustrées (3): 26.
- 178.- Quenzer, N.M. 1980. The effects of microwave blanching on the nutritional textural quality of freeze dried spinach. Diss. Abstr. Int. B. 40 (12): 5599.
- 179.- Quenzer, N.M. y Burns, E.E. 1981. Effects of microwave, steam and water blanching on freeze-dried spinach. J.

Food Sci. 46 (2): 410 - 413, 418.

- 180.- Reagan, B.K., Chiao-Cheng, J. y Streit, N.J. 1980. Effects of microwave radiation on the Webbing clothes moth, Tineola bisselliella and textiles. J. Food Prot. 43 (8): 658 - 663.
- 181.- Rice, J. (Assistant Editor). 1981. Aluminium foil containers & microwave ovens — a question of compatibility. Food Proc. 42 (13): 116, 117.
- 182.- Richardson, S. 1983. Convenience foods and home-prepared foods heated with an electric range and a microwave oven. Disc. Abstr. Int. B. 44 (2): 446.
- 183.- Ridley, S.J. y Matthews, M.E. 1982. Temperature histories of menu items during meal assembly, distribution and service in a hospital foodservice. J. Food Prot. 46 (2): 100 - 104.
- 184.- Ridley, S.J., Matthews, M.E. y McProud, L.M. 1984. Labor time code for assembling and microwave heating menu items in a hospital galley. J. Am. Diet. Assoc. 84 (6): 648 - 650.
- 185.- Riffero, L.M. y Holmes, Z.A. 1983. Characteristics of pre-rigor pressurized versus conventionally processed beef cooked by microwaves and by broiling. J. Food Sci. 48 (2): 346 - 349, 374.
- 186.- Ringle, E.C. y David, B.D. 1975. Measuring electric field distribution in a microwave oven. Food Tech. 29 (12): 46 - 54.
- 187.- Roberts, P.C. y Lawrie, R.A. 1948. Effects on bovine l.

- dorsi muscles of conventional and microwave heating. J. Food Technol. 9 (2): 95 - 97.
- 188.- Roberts, H.J. 1983. Human leucocyte functions and the U.S. safety standard for exposure to radio-frequency radiation. Science 220 (4594): 318 - 320.
- 189.- Sawyer, C.A., Biglari, S.D. y Thompson, S.S. 1984. Internal end temperature and survival of bacteria on meats with and without a polyvinylidene chloride wrap during microwave cooking. J. Food Sci. 49 (3): 972 - 974.
- 190.- Schiffmann, R.F. 1979. Understanding microwaves-problem-solving key in developing foods for growing market. Food Prod. Dev. 13 (7): 38, 40.
- 191.- Schiller, E.A., Prutt, D.E. y Robert, E. 1973. Lipid changes in egg yolks and cakes baked in microwave ovens. J. Am. Diet. Assoc. 62 (5): 529 - 532.
- 192.- Seven significant areas of advance. 1966. Microwaves and their application in food processing. Food Tech. 20 (7): 65, 66.
- 193.- Shapiro, R.G. y Baune, J.G. 1981. Microwave heating of glass containers. Glass Ind. 62 (11): 27 - 29.
- 194.- Shapiro, R.G. y Baune, J.G. 1981. Microwave heating of glass containers. Food Tech. 36 (2): 46 - 48.
- 195.- Sharma, H.S., Ojha, T.P., Harshney, H.N. y Singh, M. 1981. Microwave technique for detection of milk powder loss through spray drayer exhaust air. J. Food Sci. Tech. 18 (5): 196 - 200.

- 196.- Snider, S. 1980. The role of creatine and creatinine in the flavor intensity of microwave and conventionally cooked beef. Diss Abstr. Int. B. 41 (5): 1705.
- 197.- Stanley, E. (Technical Editor). 1979. Microwave vacuum drying: quick, quiet, clean, efficient. Food Eng. Int'l. 4 (1): 32, 33.
- 198.- Stevens, H.B. y Fenton, F. 1951. Dielectric versus stewpan cookery. Comparison of palatability and vitamin retention in frozen peas. J. Am. Diet. Assoc. 27 (1): 32, 33, 35.
- 199.- Storm, F.K., Elliot, R.S., Harrison, W.H. y Morton, D.L. 1982. Clinical RF hyperthermia by magnetic-loop induction: a new approach to human cancer therapy. IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 30 (8): 1149 - 1157.
- 200.- Sunderland, J.E. 1982. An economic study of microwave freeze-drying. Food Tech. 36 (2): 50 - 56.
- 201.- Tassan, C.G. 1980. Sensory evaluation. Research and development. Food Tech 34 (11): 57 - 59.
- 202.- Thomas, M.H., Brenner, S., Eaton, A. y Carig, V. 1949. Effect of electronic cooking on nutritive value of foods. J. Am. Diet. Assoc. 25 (1): 39.
- 203.- Tinney, C.E., Lords, J.L. y Durney, G.H. 1976. Rate effects in isolated turtle hearts induced by microwave irradiation. IEEE Trans. Microwave Theory and Tech. 24
- 204.- Tsai, T.C. y Ockerman, H.W. 1981. Water binding measurement of meat. J. Food Sci. 46 (3): 697 - 701, 707.

- 205.- Tsen, C.C. 1980. Microwave energy for bread baking and its effect on the nutritive value of bread: a review J. Food Prot. 43 (8): 638 - 640.
- 206.- Voris, H.H. y Van Duyn, F.O. 1979. Low wattage microwave cooking of top round roasts: energy consumption, thiamin content and palatability. J. Food Sci. 44 (5): 1447 - 1450, 1454.
- 207.- Wing, R.W. y Alexander, J.C. 1975. The effect of microwave heating on vitamin B<sub>6</sub> retention in chicken. J. Am. Diet. Assoc. 61 (6): 661.
- 208.- Woodwing, L. 1972. The Microwave Oven Cook Book. 1a. Ed., Nash Publishing: Los Angeles, California. pp 3 - 25, 45 - 47.
- 209.- Zimmermann, W.J. 1983. Evaluation of microwave cooking procedures and ovens for devitalizin trichinae in pork roasts. J. Food Sci. 48 (3): 856 - 860, 899.
- 210.- Zimmermann, W.J. 1984. Power and cooking time relationships for devitalization of trichinae in pork roasts cooked in microwave ovens. J. Food Sci. 49 (3): 824 - 826.
- 211.- Ziprin, Y.A. y Carlin, A.F. 1976. Microwave and conventional in relation to quality and nutrient value of beef and beef-soy loaves. J. Food Sci. 44 (1): 4 - 8